

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФІЗИКИ МЕТАЛІВ**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Є.В Іващенко
« ____ » _____ 2019 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 132 Матеріалознавство**

**на тему: «Створення зміцнених покриттів на сталі медичного призначення
40X13 методом електроіскрового легування W та C»**

Виконав:

студент II курсу, групи ФМ-81мп

Пастухов Олег Олегович _____

Керівник:

Старший викладач, к.т.н.

Балахонова Н.О. _____

Консультант з розробки стартап - проекту:

к.е.н., доцент

Петренко К.В. _____

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

д.т.н., професор

Левченко О.Г. _____

Консультант з нормоконтролю:

асистент

Шаповалова Н.А. _____

Рецензент:

к.т.н., доцент

Лоскутова Т.В. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 132 Матеріалознавство («Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Пастухову Олегу Олеговичу

1. Тема дисертації «Створення зміцнених покриттів на сталі медичного призначення 40X13 методом електроіскрового легування W та C», науковий керівник дисертації Балахонова Наталія Олександрівна, к.т.н., старший викладач, затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3890-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: формування легованого шару в результаті електроіскрового легування сталі 40X13.

4. Вихідні дані: літературні дані та дані переддипломної практики.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
- 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
- 3) підготувати установку для проведення ЕІЛ;
- 3) провести процес електроіскрового легування;
- 4) дослідити вплив ЕІЛ на структуру та властивості утворених покриттів;
- 5) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу : 30 рисунків,
1 презентація.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	д.т.н, професор Левченко О.Г.		
Організаційно-економічна частини	к.е.н., доцент Петренко К.В.		
3 питань нормоконтролю	ас. Шаповалова Н.А.		
3 експериментальної частини	доцент, к.т.н., Іващенко Є.В.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання	14.09.2019	
2	Огляд сучасних наукових робіт та написання літературного огляду	24.09.2019	
3	Освоєння методик дослідження	01.10.2019	
4	Виконання експериментальних досліджень	15.10.2019	
5	Отримання результатів та їх обговорення	12.11.2019	
6	Написання висновку та переліку посилань	19.11.2019	
7	Оформлення роботи	03.12.2019	
8	Оформлення презентації та написання доповіді	05.12.2019	
9	Попередній захист	09.12.2019	
10	Захист на засіданні ЕК	18.12.2019	

Студент

О.О. Пастухов

Науковий керівник дисертації

Н.О Балахонова

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 81 сторінок, 30 рисунків, 12 таблиць, 43 літературних джерел.

ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ (ЕІЛ), ЛЕГОВАНІЙ ШАР, СТАЛЬ 40X13.

Об'єкт дослідження: сталь 40X13 після нанесення W – C – W, C – W – C, W – C – W – C, C – W – C – W покриттів, за допомогою ЕІЛ.

Мета дослідження: дослідження впливу пошарового легування на мікроструктуру, мікротвердість та фазовий склад поверхневих шарів сталі 40X13, одержаних електроіскровим легуванням за режимів W – C – W, C – W – C, W – C – W – C, C – W – C – W.

Методи досліджень: мікроструктурний аналіз, мікродюрOMETричний аналіз, рентгенофазовий аналіз та гравіметричний аналіз.

Об'єкт дослідження: поверхневі шари сталі 40X13, отримані електроіскровим легуванням вольфрамом та вуглецем.

Встановлений ефект впливу електроіскрового легування на зростання мікротвердості зміцненого шару W – C – W, C – W – C, W – C – W – C, C – W – C – W від 9,1 ГПа до 11,5 ГПа а також збільшення мікротвердості підшару до 6 ГПа.

Практичне значення: проведений аналіз експериментальних даних може бути використаний для покращення робочих характеристик сталі медичного призначення 40X13 та відповідно забезпечення довготривалої експлуатації виробів з цього матеріалу.

ABSTRACT

Master's dissertation: 81 pages, 30 figures, 12 tables, 43 literary sources.

ELECTRIC-SPARK ALLOYING (ESA), ALLOY, 40KH13 (40X13) STEEL.

Object of study: steel 40KH13 (40X13) after application of W – C – W, C – W – C, W – C – W – C, C – W – C – W coatings, with the help of ESA.

Purpose of the study: study of the effect of layering on the microstructure, microhardness and phase composition of surface layers of 40KH13 (40X13) steel obtained by electrospin alloying under W - C - W modes, C - W - C, W - C - W - C, C - W - C - W.

Research methods: microstructural analysis, microdurometric analysis, X-ray phase analysis and gravimetric analysis.

Research results: it was found that after application of W – C – W, C – W – C, W – C – W – C, C – W – C – W coatings on a 40KH13 (40X13) steel surface, the microhardness increases and the performance of the surfaces improves.

Object of study: surface layers of 40KH13 (40X13) steel obtained by electrosark doping of tungsten and carbon.

The effect of the effect of electrosark doping on the growth of the microhardness of the hardened layer W – C – W, C – W – C, W – C – W – C, was established, C – W – C – W from 9.1 GPa to 11.5 GPa as well as increasing the microhardness of the sublayer to 6 GPa.

Practical value: the data analysis conducted can be used to improve the performance of medical steel 40KH13 (40X13) and, accordingly, to ensure long-term use of products made of this material.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.1 Суть методу електроіскрової обробки.....	11
1.2 Вплив електроіскрового легування W та C на структуру і властивості сталі 40X13	12
1.3 Електроіскрове легування сплавів (ЕІЛ).....	13
1.4 Принципова схема та фізична модель ЕІЛ.....	14
1.5 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням методу ЕІЛ	17
1.6 Електродні матеріали для ЕІЛ	18
1.7 Висновки до розділу 1	21
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
2.1 Об'єкти дослідження.....	22
2.2 Методика проведення експерименту.....	22
2.3 Використані методи для дослідження оброблених зразків.....	24
2.3.1 Метод визначення мікротвердості	24
2.3.2 Гравіметричний аналіз.....	27
2.3.3 Мікроструктурний аналіз	28
2.4 Рентгенофазовий аналіз.....	29
2.5 Висновки до розділу 2	30
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	31
3.1 Електроіскрове легування сталі 40X13 за схемами W – C – W та C – W – C	31
3.2 Електроіскрове легування сталі 40X13 за схемами W – C – W – C та	

C – W – C – W	37
3.3 Висновки до розділу 3	42
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	44
4.1 Актуальність	44
4.2 Опис ідеї стартап - проекту.....	44
4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження.....	50
4.3.1 Витрати на основні матеріали	51
4.3.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади.....	52
4.3.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова	52
4.3.4 Відрахування на соціальні заходи.....	54
4.3.5 Витрати на службові відрядження	54
4.3.6 Витрати на послуги сторонніх організацій.....	54
4.3.7 Інші прямі невраховані витрати	54
4.3.8 Накладні витрати	54
4.3.9 Планова кошторисна вартість дослідження	55
4.4 Висновки до розділу 4	56
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
5.1 Аналіз наявності шкідливих та небезпечних виробничих факторів.....	57
5.1.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату.....	57
5.1.2 Склад повітря робочої зони	59
5.1.3 Аналіз шуму	61
5.1.4 Вібрації	62
5.1.6 Електробезпека	66
5.1.7 Електромагнітне випромінювання.....	67
5.2 Інженерні рішення	68

5.2.1 Вимоги до організації робочого місця.....	68
5.2.2 Вентиляція.....	70
5.2.3 Аналіз освітлення приміщення	72
5.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	73
5.3.1 Пожежна безпека	73
5.3.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	74
5.4 Висновки до розділу 5	75
ВИСНОВКИ	76
CONCLUSION	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	78

ВСТУП

Працюючи в складних умовах деталі машин схильні до стирання та зношування, що призводить до зменшення строку їх експлуатації. Збільшення строку експлуатації та покращення механічних характеристик деталей машин і механізмів було і залишається однією з найважливіших задач фізичного матеріалознавства.

Електроіскрове легування сталей та сплавів карбідоутворюючими елементами суттєво збільшує робочі характеристики деталей, що працюють в складних умовах експлуатації і, відповідно, збільшують строк експлуатації. В науковій літературі відсутні дані з пошарового ЕІЛ вольфрамом та вуглецем сталі 40Х13, яка використовується як різальний та інструмент для затискання в медицині та в техніці. Актуальним є підвищення мікротвердості робочих поверхонь затискачів для голок та робочих характеристик ріжучих поверхонь скальпелів в хірургії. Тому дослідження впливу ЕІЛ W та C на мікротвердість та фазовий склад сталі 40Х13 є актуальною темою.

Електроіскровий метод заснований на явищі електричної ерозії аноду при пропусканні іскрового розряду та полярному перенесенні продуктів ерозії з аноду (легуючого електроду) на катод (деталь) з утворенням поверхневого модифікованого шару. Базуючись на засадах доступності матеріалів, економічності, екологічності та простоті використання методу обробки сталей та сплавів електроіскрове легування (ЕІЛ) залишається перспективним методом, для створення зміцненого шару на поверхні готового виробу та відновлення працездатності деталей і інструментів, у різних галузях промисловості, включаючи і авіапромисловість.

В даній роботі, на основі аналізу літературних даних, досліджено такі показники як мікротвердість, мікроструктуру та фазовий склад сталі 40Х13 після пошарового електроіскрового легування (ЕІЛ) вольфрамом і графітом та дослідження залежності послідовності легування на зміну характеристик покриття

Мета роботи: Дослідження впливу пошарового електроіскрового легування С та W в різних послідовностях сталі 40X13 на мікротвердість, мікроструктуру та фазовий склад поверхневого шару.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконання наступних завдань:

- проведення процесів пошарового електроіскрового легування W та С сталі 40X13 в наступних послідовностях W – С – W, С – W – С, С – W – С – W, W – С – W – С.

- дослідження мікроструктури, мікротвердості та фазового аналізу поверхневих шарів сталі 40X13 після пошарового електроіскрового легування W та С.

- аналіз експериментальних даних та формулювання висновків.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Існують різноманітні способи поверхневого зміцнення деталей, підвищення їх корозійної стійкості та зменшення тертя спряжених поверхонь тертя. Одним із способів легування поверхні деталі або її елементів є електроіскрове легування. Даний метод відрізняється економічністю використання матеріалів (анодів), а також забезпечує подовження строку служби деталей механізмів, що досягається фізикохімічними перетвореннями поверхневого зміцненого шару деталі. Саме електроіскрове легування дає змогу підвищити твердість, жорсткість, корозійну стійкість поверхонь деталей та зменшити коефіцієнт тертя, а також провести ремонт і відновити розміри зношеної деталі, модифікувавши поверхневий шар.

В останні роки технологічний прогрес в промисловості пов'язаний з розробкою та втіленням екологічних та ефективних технологій зміцнення поверхонь тертя [1].

1.1 Суть методу електроіскрової обробки

Метод електроіскрового легування дозволяє, на обробленій поверхні, підвищити твердість, корозійну стійкість, жаростійкість та зносостійкість деталей машин і механізмів, за рахунок утворення необхідних хімічних сполук та шарів з необхідною шорсткістю. Успіх обробки ЕІЛ залежить від раціонального вибору аноду з врахуванням його ерозійної стійкості, фізико-хімічних властивостей та режиму обробки, що суттєво впливає на характеристики майбутнього легованого шару.

Суть електроіскрового легування полягає у дії імпульсних електричних розрядів на електропровідні матеріали катоду та аноду. Утворений електричний розряд формує на поверхні катоду модифіковані шари, що виникають як результат дії імпульсів та теплових навантажень в області розряду. Під впливом теплових навантажень на поверхні аноду відбувається ряд некерованих процесів, а саме: термомеханічні, дифузні, мікрометалургійні та інші, при дії яких здійснюється перемішування

матеріалу аноду і катоду, що сприяє утворенню високої зчеплюваності легованого шару з основою. Характер формування легової поверхні визначається складом, структурою, властивостями матеріалів анодів і технічними параметрами процесу електроіскрового легування.

1.2 Вплив електроіскрового легування W та C на структуру і властивості сталі 40X13

Електродні пари підбирались таким чином, щоб у процесі ЕІЛ матеріали анодів, що належать до перехідних металів, могли утворювати з матеріалом основи різні типи твердих розчинів, карбіди, нітриди та інтерметаліди. Першим анодом для електроіскрового легування з постадійним нанесенням було обрано вольфрам. Вольфрам є одним з найбільш тугоплавких металів, що робить його застосування незамінним в областях, пов'язаних з температурою. Вольфрам – основа твердих та багатьох жаростійких сплавів, входить у склад зносостійких та інструментальних сталей.

Зважаючи на властивості вольфраму та його карбідів доцільним буде його використання при ЕІЛ, для підвищення твердості та жаростійкості.

Графіт завдяки своїм властивостям широко використовується в машинобудуванні. Його корозійна стійкість та антифрикційні характеристики роблять його бажаним об'єктом для широко використання та втілення в дослідження. Також як зазначають дослідники ЕІЛ обробка графітовим анодом значно зменшує шорсткість поверхні, що несе позитивний вплив [5].

При багат шаровому нанесенні покриття методом ЕІЛ на матеріал основи відбувається перемішування компонентів аноду не тільки з поверхневим шаром матриці, а й з вже нанесеним модифікованим шаром. Таким чином відбувається повторна модифікація складу та властивостей утвореного покриття.

1.3 Електроіскрове легування сплавів (ЕІЛ)

Важливим напрямком матеріалознавства в відкритий ринковій економіці є створення принципово нових матеріалів та поверхонь з високими фізико-механічними властивостями, виготовлення екологічно чистих економічно вигідних технологій їх отримання. Актуальність даної проблеми залишається і в методі електроіскрового легування (ЕІЛ), засновниками якого є вчені Б.Р. Лазаренко та М.І. Лазаренко. Метод ЕІЛ за своє існування набув широкого використання у високорозвинених країнах, таких як США, Японії, Німеччині та інших.

Вагомий внесок, в історію розвитку методу як наукового напрямку зробили Г.В. Самсонов, А.Г. Бойцов, Ф.Х. Бурумкулов, А.Д. Верхотуров, Г.П. Іванов, В.А. Кім, Іноуе Кієсі та інші. Дослідження процесів ЕІЛ, та розробка нових технологій методу дозволяють отримувати на металевих поверхнях покриття, які будуть відповідати заданим властивостям і вимогам експлуатації деталей.

Дякуючи високим показникам продуктивності, простоті, універсальності, та простоті, метод ЕІЛ здобув широке застосування в промисловості. Сам процес являє собою взаємодію елементів в умовах, що мають високі показники температури, тиску та проходять в локальному об'ємі великих електричних, та магнітних полів. Ці умови утворюють складну сукупність фізичних явищ, які визначають практично всі особливості процесу електроіскрового легування [22].

Основним параметром ЕІЛ вважається енергія електричного розряду (W_p), змінюючи яку можемо впливати на процес ЕІЛ, а також на фізичні та механічні характеристики виробів .

$$W_p = K \times \frac{c^2 \times U}{2}, \quad (1.1)$$

де K – коефіцієнт, що враховує втрати енергії у розрядному контурі ($K \sim 0,5-0,7$);

c – ємність конденсаторів (Ф);

U – напруга на конденсаторах (В).

1.4 Принципова схема та фізична модель ЕІЛ

Ідея заснована на перенесенні невеликих порцій матеріалу при виникненні плазових розрядів. Операція розплавлення і осадження лігатури відбувається в повітряно-газовій середовищі. Спосіб нагадує мікро-зварювальний процес. Виникнення короткочасного електричного імпульсу, викликає розплавлення легируючої основи електрода і перенесення її на оброблювану поверхню. Звідси, інша назва процесу, – «Електроіскрове покриття», «Електроіскрове зміцнення».

Принципова схема процесу ЕІЛ з вібруючим анодом у вигляді електрода та зображення поверхневого шару катоду, що утворюється в процесі, зображені на рисунках 1.1 та 1.2. Коли відстань між анодом і катодом співрозмірна з пробивною, - утворюється іскровий розряд що триває ($10^{-6} - 10^{-3}$) с, який зазвичай завершується при контакті електродів. Умовні позначення: Г.И. – генератор імпульсів; МЭП – міжелектродний проміжок; А – анод; К – катод (деталь) ; ИР – іскровий розряд; f_a – частота коливань аноду. На рисунку 1.1 зображено структуру що утворюється на катоді при такому режимі – анод – сталь 5ХНМ, катод–вуглеграфітовий, струм – 15 А, тривалість – 10^{-3} с

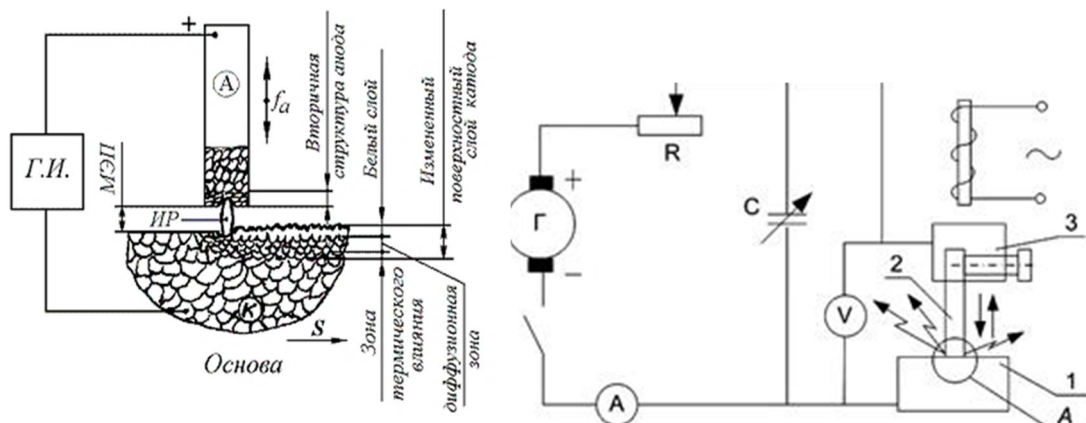


Рисунок 1.1 - Принципова схема процесу ЕІЛ [38]

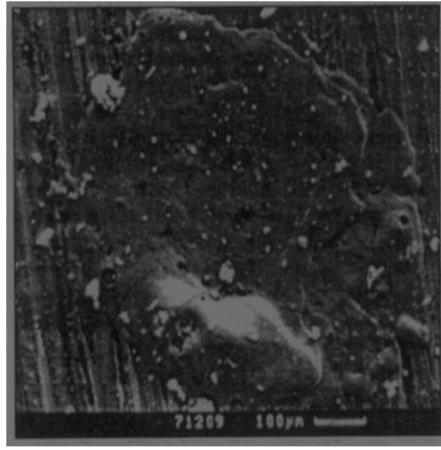


Рисунок 1.2 – Структура, що утворюється на катоді, в результаті ЕІЛ [26]

Найбільш популярні уявлення методу ЕІЛ, були запропоновані засновниками цього методу Б.Р. Лазаренко та М.І. Лазаренко. Вони основані на тому, що внаслідок протікання іскри в точках виникнення розряду на поверхні електродів проходить переміщення та взаємне проникнення розплавлених та розм'якшених зон обох електродів .

На поверхні електродів, після пробою міжелектродного проміжку утворюються локальні області плавлення, випаровування, які викликають електричну ерозію електродів. Перенос матеріалу аноду на катод приводить до зміни структури та властивостей поверхневого шару. Після завершення електричного розряду, та відштовхуванні аноду від катоду, завершується цикл електричного ланцюжка. Неперервний процес ЕІЛ відбувається за рахунок періодичної комутації аноду з катодом, що утворюється завдяки спеціальним приладам, наприклад вібратора з закріпленим на ньому анодом .

Проте наведені явища ґрунтуються на явищах які супроводжують високовольтний розряд, в той час як у більшості установках для нанесення покриття використовується низька напруга. Дана різниця є принциповою, та цілком змінює уявлення про протікання процесу . Натомість, основний внесок у процес вносить процес масопереносу, який обумовлений між електродним контактним нагріванням та плавленням електродів.

Іскра здійснює імпульсний тепловий та механічний вплив на

електроди. Потік електронів приводить до розігріву аноду, а поперечне магнітне поле створює високий тиск у плазмовому шнурі розряду, в наслідок чого на поверхні виникають об'ємні джерела тепла, які призводять до утворення ерозійних лунок на електродах. Аналіз літературних та експериментальних даних методу ЕІЛ приводять до наступної моделі вібраційного легування (рис. 1.3) дана модель відрізняється від Лазаренка кінетикою процесу, та врахуванням поверхневих явищ на матеріалі аноду та катоду, які включають: руйнування електродів у рідкій, паровій та твердій фазах; захоплення їх у момент контакту; зміну властивостей робочих поверхонь за рахунок перенесення матеріалу та імпульсних навантажень; наявність на катоді у зоні дії іскри мікрованни, що забезпечує перекристалізацію матеріалів та їх фізико – хімічну взаємодію; обмеження товщини шару за рахунок внутрішніх напружень та термічної втоми; дискретний характер формування легованого шару.

Завдяки локалізації площі обробки, спосіб електроіскрового зміцнення застосовують часових справ майстри, ювеліри. Прижився метод у любителів створювати діючі металеві копії автомобілів, кораблів, літаків. Метод дозволив наносити покриття на скло і кераміку.

Умовні позначення: А – пробій міжелектродного проміжку, Б – утворення ерозійних лунок на електродах з трьома зонами – випаровування (І), плавлення (ІІ) та напруженого стану (ІІІ), В – контакт електродів, Г – формування на аноді вторинної структури (ВС) та легованого шару (ЛШ) на катоді.

Основною перевагою узагальненої моделі Верхотурова є можливість керування властивостями покриттів за допомогою підбору матеріалів електродів. Проте ця модель не враховує взаємозв'язок мікротвердості матеріалу електроду, легованого шару, зносо- та жаростійкості покриттів.

Схематичне зображення узагальненої моделі ЕІЛ представлено на рисунку 1.3.

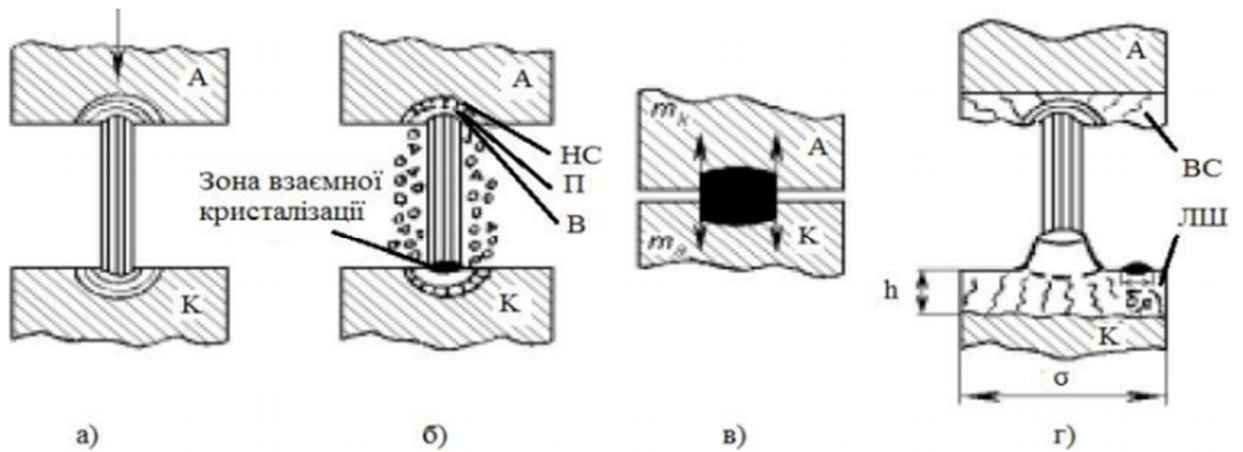


Рисунок. 1.3 - Узагальнена схема процесу ЕІЛ [39]

В лунці можна виділити три зони, це випаровування, плавлення та напруженого стану. Чим менша температура плавлення, кипіння та коефіцієнт теплопровідності, тим більша зона плавлення та випаровування. За рахунок термічних та термомеханічних хвиль напружень. Зона напруженого стану утворюється за рахунок хвилі термічних та термомеханічних напружень внаслідок імпульсного нагріву, реактивного впливу плазмового струменю та його розширення у момент спадання струму у імпульсі.

1.5 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням методу ЕІЛ

В результаті електроіскрового легування оброблювана деталь зазнає змін розміру, рельєфу, фізичних, хімічних та механічних характеристик її поверхневого шару.

Для покращення властивостей робочих поверхонь матеріалів, тобто підвищення міцності, зносостійкості та корозійної стійкості використовують методи нанесення зміцнюючих або захисних покриттів.

У модифікованих шарах спостерігається утворення інтерметалідів, нітридів, карбідів, оксидів та дрібно-кристалічної структури та інші, завдяки чому підвищується поверхнева твердість.

Невелика кількість досліджень на тему впливу середовища легування не дає чіткої картини впливу, однак раніше проведене дослідження направлене на порівняння характеристик легованих шарів утворених в двох різних середовищах дають підставу говорити про суттєвий вплив атмосфери аргону на товщину утворюваного шару, на його мікротвердість та зносостійкість.

1.6 Електродні матеріали для ЕІЛ

Сталь 40X13 використовують для виробництва медичних скальпелів та інших інструментів. З неї також виготовляють пружини, підшипники, компресорні елементи і т.д. Сталь марки 40X13 широко застосовують у всьому світі для виготовлення хірургічних ножів. Вироби з цієї сталі чудово підходять для використання в побуті, адже вони корозійностійкі, легко натачуються та непримхливі у догляді.

Значним мінусом деталей з зазначеної сталі є їх корозійна стійкість до агресивних середовищ та високим температурним режимам. Саме через те, що сталь 40X13 не піддають зварюванню.

Електродні пари підбирались таким чином, щоб у процесі ЕІЛ матеріали анодів, що належать до перехідних металів, могли утворювати з матеріалом основи різні типи твердих розчинів, карбіди, нітриди та інтерметаліди.

Першим анодом для електроіскрового легування з постадійним нанесенням було обрано вольфрам. Вольфрам є одним з найбільш тугоплавких металів, що робить його застосування незамінним в областях, пов'язаних з температурою. Вольфрам – основа твердих та багатьох жаростійких сплавів, входить у склад зносостійких та інструментальних сталей. Карбід вольфраму (WC) використовують для механічної обробки металів і неметалічних конструкційних матеріалів у машинобудуванні, видовбуванні, фрезеруванні [2].

В системі $W - C$ існують дві фази – W_2C і WC . Кожна має декілька

структурних модифікацій, які залишаються стійкими при певній температурі та концентрації [12]. Діаграма стану наведена на рисунку 1.4.

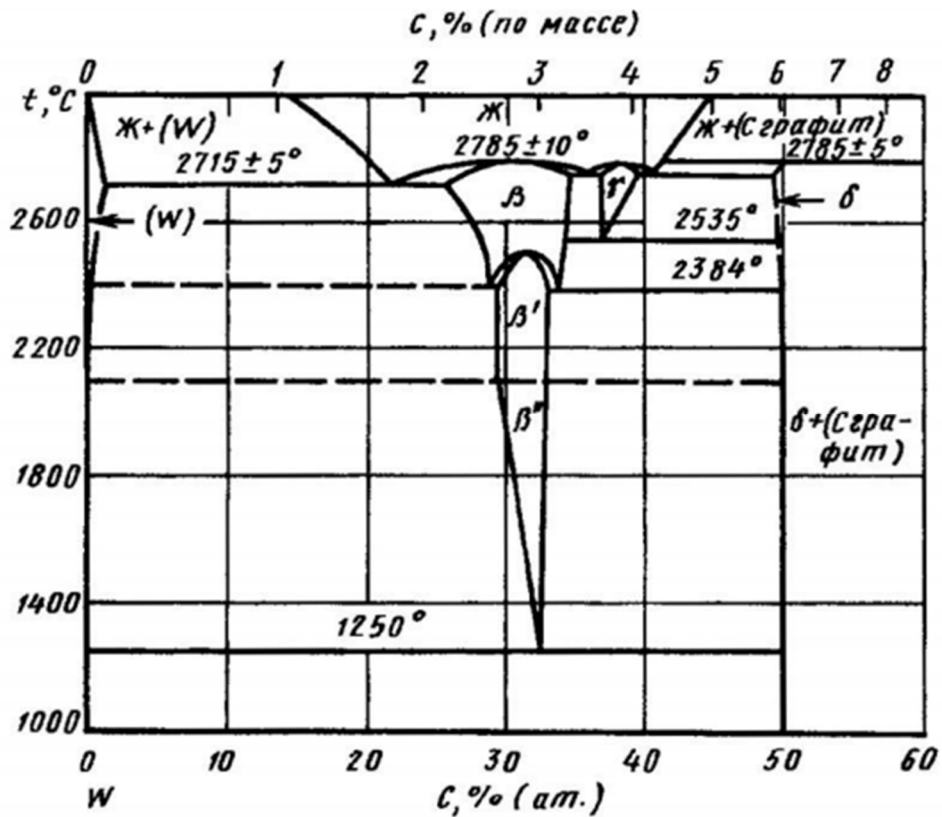


Рисунок 1.4 – Діаграма стану W-C [40]

В системі встановлено утворення трьох фаз $\text{W}_2\text{C}(\beta)$, $\gamma - \text{WC}$ та WC . Розчинність графіту в вольфрамі складає 0,7 ат.%. Як видно з діаграми (рис. 1.5) за температури 1250°C фаза $\beta - \text{W}_2\text{C}$ розпадається на W та WC . Низькотемпературна модифікація W_2C (β'') має гексагональну структуру з параметрами решітки $a = (0,2994 - 0,2912)$ нм, $c = (0,472 - 0,4823)$ нм. Високотемпературні модифікації, що утворюються за температур вище 2000°C , не доступні для метода ЕІЛ, тому описувати їх не доцільно [8].

Отже, використання вольфраму при ЕІЛ, знаючи його властивості, буде доцільним для підвищення твердості, жаростійкості та зносостійкості.

Оскільки нанесення матеріалу вольфрамового аноду відбувається безпосередньо на сталь 40X13, що містить приблизно 84 % Fe то доцільним буде навести та описати діаграму стану вольфрам – залізо.

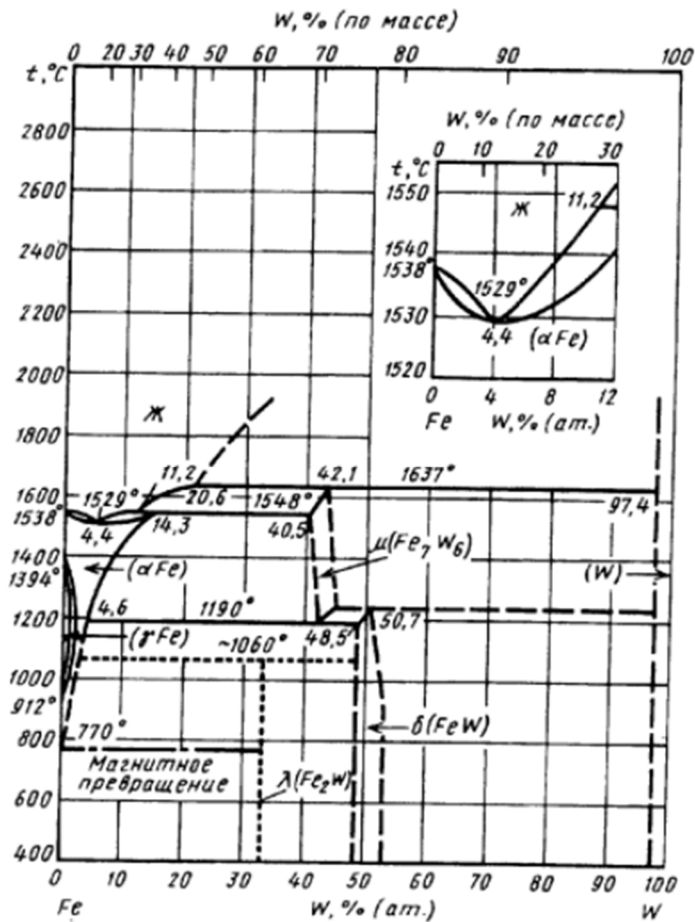


Рисунок 1.5 – Діаграма стану Fe – W[19]

У системі формується три проміжні фази $\lambda(\text{Fe}_2\text{W})$, $\mu(\text{Fe}_7\text{W}_6)$, $\sigma(\text{FeW})$ та тверді розчини (W) , (αFe) , (γFe) . Розчинність W в (αFe) зі зниженням температури зменшується від 14,3 ат.% при 1548 °C до 4,6 ат.% при 1190 °C. При температурах нижче 1000 °C розчинність W в (αFe) встановлена менш точно, бо для встановлення рівноваги необхідно багато часу. W стабілізує (αFe) , підвищуючи температуру перетворення $(\alpha\text{Fe}) \leftrightarrow (\gamma\text{Fe})$ и знижуючи температуру перетворення $(\gamma\text{Fe}) \leftrightarrow (\sigma\text{Fe})$ и призводить до появи замкнутої області (γFe) . Максимальна розчинність W в (γFe) становить 1,46 ат.% [11].

Графіт завдяки своїм властивостям широко використовується в машинобудуванні. Його корозійна стійкість та антифрикційні характеристики роблять його бажаним об'єктом для широко використання та втілення в дослідження [3].

При багат шаровому нанесенні покриття методом ЕІЛ на матеріал

основи відбувається перемішування компонентів аноду не тільки з поверхневим шаром матриці, а й з вже нанесеним модифікованим шаром. Таким чином відбувається повторна модифікація складу та властивостей утвореного покриття. Ретельне вивчення діаграм стану допомагає наблизити очікування до реальних результатів [4].

1.7 Висновки до розділу 1

1. Сталь 40X13 використовують для виготовлення пружин, деталей компресорів, карбюраторні голки. При обробці «закалка + низький відпуск» сталь 40X13 набуває структури відпущеного мартенситу і з неї виготовляють ріжучий хірургічний інструмент. У зв'язку з цим виникає потреба у поверхневому зміцненні таких деталей для покращення їх експлуатаційних характеристик.

2. Основна ідея проведення дослідження полягає в наступному: легування сталі 40X13 вольфрамом та графітом може приводити до утворення дисперсних карбідів вольфраму, які будуть призводити до збільшення мікротвердості, що підтверджує ряд досліджень [9].

3. Легування графітом окрім сприяння утворенню карбідів може приводити до утворення виділень аморфного (вільного) вуглецю, який може виконувати роль твердого мастила.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкти дослідження

Об'єктом дослідження являлися зразки, виготовлені зі сталі 40X13, шириною 10 мм і висотою 10 мм. Вибір цього матеріалу визначався тим, що він використовується в дуже важливій галузі такій як хірургія, а саме різальні та затискальні хірургічні інструменти тому даний матеріал має бути достатньо міцним і для підвищення цих параметрів його поверхню слід зміцнювати, наприклад методом ЕІЛ.

Найбільш розповсюдженим різновидом легованих сталей, для лез, на сьогодні є нержавіючі сталі. Корозійна стійкість яких визначається не тільки вмістом хрому, а й якістю поверхні [5].

Для досягнення поставленої мети було досліджено 4 зразка з пошаровим нанесенням вольфраму та графіту методом електроіскрового легування на матеріал основи сталь 40X13, хімічний склад якої вказаний на рисунку 2.1.

C	0,35 - 0,44
Si	до 0,6
Mn	до 0,6
Ni	до 0,6
S	до 0,025
P	до 0,03
Cr	12 - 14
Fe	~84

Рисунок 2.1 – Хімічний склад сталі 40X13

2.2 Методика проведення експерименту

У даний час, у вітчизняній і світовій практиці, дослідницький і комерційний інтерес спрямований на розробку покриттів для роботи у

екстремальних умовах експлуатації. Високоєфективним методом отримання таких покриттів є електроіскрове легування [6].

Установки для електроіскрового легування складаються в основному з трьох вузлів: понижуючого трансформатора, випрямлячів, конденсаторів, а також вібратору. Більшість установок працює на випрямленому пульсуючому струмі із живленням від промислової мережі змінного струму напругою 220 В [24].

Робота установки для електроіскрового легування базується на тому, що на обкладинках конденсатору спочатку накопичується електрична енергія, яка потім миттєво звільняється між електродами. Комутація ланцюгу розрядного контуру здійснюється за допомогою вібраційного пристрою [23].

Для нанесення покриттів була використана стандартна лабораторна установка для електроіскрового легування «ЕЛІТРОН – 26А», схема якої наведена на рисунку 2.2.

«Елітрон - 26А» позначення : 1 – зразок (катод); 2 – допоміжний електрод (анод); 3 – вібратор.

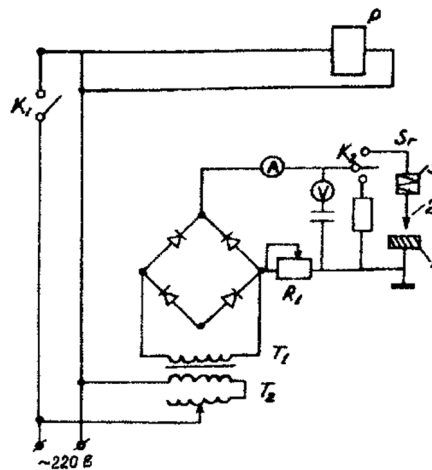
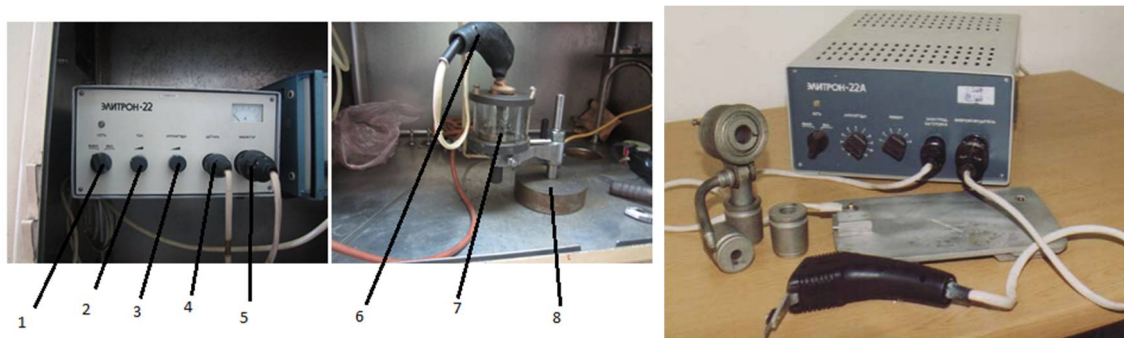


Рисунок 2.2 – Схема установки «ЕЛІТРОН – 26А» [41]

Принцип дії заснований на генеруванні електроіскрових розрядів між двома електродами (катодом – виробом, що обробляється, та анодом – матеріалом, призначеним для легування поверхні катоду) [20].

На рисунку 2.3 зображена сама установка “ЕЛІТРОН – 26А”.



1 – вмикач пристрою; 2 – регулятор струму; 3 – регулятор амплітуди; 4 – вихід провідника катоду, деталь; 5 – провідник аноду;
6 – ручка в якій закріплюється матеріал аноду; 7 – камера в якій знаходиться закріплений зразок, катод; 8 – підставка

Рисунок 2.3 – Вигляд з зовні приладу “ЕЛІТРОН – 26А” [41]

Використовувався наступний режим: $I = 1,2 \text{ A}$; $\tau = 120 \text{ сек/см}^2$;
 $\nu = 100 \text{ Гц}$; між електродний простір (МЕП) = 1 мм .

В якості анодів використовувався графітовий стердень марки МПГ – 6, який використовується для виготовлення технічної оснастки та вольфрамовий стержень ВЧ, тобто чистий вольфрам без присадок [7].

2.3 Використані методи для дослідження оброблених зразків

Для отримання експериментальних даних в ході дослідження було використано комплекс методів, який дозволив в повній мірі проаналізувати результати дослідження та зробити висновки щодо можливої сфери використання зазначених схем обробки.

Робота була побудована на використанні такого комплексу методів:

- гравіметричний аналіз;
- мікроструктурний аналіз;
- мікродюрOMETричний аналіз;
- рентгенофазовий аналіз;

2.3.1 Метод визначення мікротвердості

Мікротвердість шліфів вимірювали на приладі ПМТ-3М, можемо спостерігати установку (на рис. 2.4) вимірювання мікротвердості проводилося шляхом вдавнення стандартної алмазної пірамідки з квадратною підставою і двограним кутом при вершині 136° при навантаженні 20 г протягом (8-10) секунд [21].



Рисунок 2.4 – Вигляд ззовні приладу ПМТ-3М [43]

За величиною діагоналі визначали мікротвердість в ГПа, користуючись табличними даними приладу. Протяжність легованого шару та зони термічного впливу визначалися за кривими розподілу мікротвердості. Значення мікротвердості розраховували за формулою :

$$H_{\mu} = 1854 \times P \div (d_{\text{сер}} \times 0,3), \quad (2.1)$$

де H_{μ} - значення мікротвердості;

P - навантаження на індентор (точність визначення маси гирі вагою 20 г

складає $\pm 0,1$ мг);

$d_{сер}$ - середнє значення довжини діагоналі, яке розраховується за формулою :

$$d_{сер} = (d_{i1} + d_{i2}) \div 2, \quad (2.2)$$

де d_{i1} , d_{i2} - відповідно довжини діагоналей чотириохкутного відбитка, мкм.

Найбільша основна похибка окуляр-мікрометра на всьому діапазоні вимірювань складає ± 2 мкм у відповідності з паспортом. Похибка вимірювання середнього значення довжини діагоналей відбитка визначається за формулами :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{сер} - (d_{i1} + d_{i2})/2)^2}{n-1}}, \quad (2.3)$$

де n - кількість вимірювань, таким чином значення мікротвердості визначається за формулою:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.4)$$

$$H_{\mu} = \frac{1,854 \cdot P}{(d_{сер} \pm \sigma_0)^2}, \quad (2.5)$$

де σ_0 - довірчий інтервал.

Відносна похибка вимірювання δH_{μ} визначається :

$$\delta H_{\mu} = \left| \frac{H_{\mu}(d_{сер}) - H_{\mu}(d_{сер} \pm \sigma_0)}{H_{\mu}(d_{сер})} \right| \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

Абсолютна похибка :

$$\Delta H_{\mu} = H_{\mu}(d_{cp}) - H_{\mu}(d_{cp} \pm \sigma_0), \quad (2.7)$$

Коефіцієнт зміцнення ($K_{зм.}$) розраховувався як співвідношення найбільшого значення мікротвердості легованого шару до мікротвердості основи.

2.3.2 Гравіметричний аналіз

Гравіметричний метод аналізування полягає в вимірюванні маси електродів перед початком електроіскрової обробки та під час обробки, на кожній стадії процесу, з визначеним кроком. В даній роботі зважування проводилось кожну хвилину.

Гравіметричний аналіз, гравіметрія — група методів кількісного визначення складу речовин, що засновані на вимірюванні їхньої маси або маси їхніх складових.

Кінетику масопереносу вивчали гравіметричним методом із точністю 10^{-4} г, вимірюючи сумарний ($\sum \Delta m_k$) приріст маси катоду та сумарну ($\sum \Delta m_a$) ерозію аноду через кожну хвилину обробки.

Визначали сумарну ерозію аноду $\sum \Delta m_a$ та сумарний приріст маси

$$\sum \Delta m_k = m_k(t_n) - m_k(t_0), \quad (2.8)$$

$$\sum \Delta m_a = m_a(t_n) - m_a(t_0), \quad (2.9)$$

катоду $\sum \Delta m_k$:

де t_n — час n-го вимірювання маси зразка;

t_0 — до ЕІЛ.

Коефіцієнт масоперенесення знаходиди із співвідношення:

$$K = \left| \frac{\sum \Delta m_k}{\sum \Delta m_a} \right| \times 100\% . \quad (2.10)$$

Контроль маси електродів проводився з використанням лабораторних вагів «AXIS AD50» (точність вимірювання 0,0005 г).

За одержаними результатами будували криві $\sum \Delta m_k$ та $\sum \Delta m_a$ залежно від тивалості обробки.

2.3.3 Мікроструктурний аналіз

Підготовка поперечних шліфів потребує фіксації обробленого зразка, для цього була використана струбцина з мідною пластиною, яка прилягала до утвореного шару. Шліфування відбувалося із застосуванням абразивного паперу різної шорсткості, з поступовим зменшенням абразивних часток. Створення дзеркальної поверхні досягалося використанням полірувальної пасти (оксид хрому III) з подальшим переходом на шліфування водою. Для дослідження мікроструктури з використанням оптичної мікроскопії виготовлялися металографічних поперечних шліфів.

Отримана поверхня шліфу протравлювалась, з використанням використовувався 20 % розчин азотної кислоти, в етиловому спирті.

Фотографування шліфів мікроструктури, для наступного металографічного аналізу, здійснювалось на оптичному мікроскопі МЕТАМ РВ -21, який зображений на рисунку 2.5, при збільшенні від 100 до 400 разів.

Фото мікроструктури поверхневих ділянок зразків зроблено за допомогою фото-насадки DCM310 з відповідним програмним забезпеченням, яке передає зображення на комп'ютер. Мікроструктура

розглядалась на металографічному мікроскопі МИМ 10 за різного масштабування.



Рисунок 2.5 – Металографічний мікроскоп МЕТАМ з верхнім розташуванням предметного столику [42]

2.4 Рентгенофазовий аналіз

Для отримання даних рентгенофазового аналізу використовувався дифрактометр Ultima IV (Rigaku).

Завдання, які вирішуються дифрактометром Rigaku Ultima IV:

- фазовий аналіз різних матеріалів;
- кількісний аналіз;
- кристалічні структури;
- розмір кристалітів;
- переважні орієнтації;
- досконалість кристалічної структури;
- ступінь кристалізації;
- залишкові напруги;
- функція радіального розподілу;
- орієнтація та структура тонких плівок;
- розподіл розмірів наночастинок і пор;
- багат шарові структури (товщина, щільність, шорсткість);
- одночасний рентгеноструктурний та калориметричний аналіз.

Ultima IV – єдиний на ринку дифрактометр з повністю автоматичним юстуванням всієї системи. Зйомки проводились на мідному монохроматизованому випроміненні при напрузі 30 кВ та струмі 30 мА.

Можливість здійснення сканування в двох взаємно перпендикулярних площинах без необхідності перебудови системи являється революційним

проривом у дифрактометрії тонких плівок. Використання in-plane геометрії дозволяє проводити аналіз плівок товщиною до 1 нм. В такій геометрії можна визначати параметри решітки в площині зразка, а також визначати орієнтаційні відношення в системі плівка/підложка, що недоступно при використанні стандартної геометрії. Вбудовані бази даних дозволяють автоматично аналізувати дифрактограми отримані в електронному вигляді.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Аналіз літературних даних показав, що для досягнення поставленої задачі підвищення робочих характеристик деталей зі сталі 40X13, а саме хірургічного різального інструменту та затискального медичного інструменту є доцільним використати процес ЕІЛ сталі 40X13 карбідоутворюючим елементом вольфрамом та вуглецем в різних послідовностях, що може призвести до збільшення мікротвердості за рахунок формування карбідів вольфраму.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Метою даної роботи є дослідження впливу електроіскрового легування сталі 40Х13 С та W в різних послідовностях на мікроструктуру, кінетику формування шару, мікротвердість та фазовий склад зміцненого шару.

Для досягнення поставленої мети було проведено ЕІЛ С, W сталі 40Х13 на повітрі при діючій напрузі $U = (60 - 70) \text{ В}$, струмі обробки $I = (2 - 2,5) \text{ А}$, впродовж $(9 - 12) \text{ хв}$ (в залежності від режиму легування).

3.1 Електроіскрове легування сталі 40Х13 за схемами W – С – W та С – W – С

Проведено електроіскрове легування сталі 40Х13 за схемою W-C-W. Гравіметричний аналіз показав, що приріст маси катоду на всіх стадіях легування W, С збільшується, рисунок 3.1. При легуванні W та С відбувається масоперенесення матеріалу аноду на катод, оскільки відбувається збільшення маси катоду. В процесі ЕІЛ зменшення вольфрамового аноду відбувається менш інтенсивно за вуглецевого. Це можна пояснити нижчим значенням температури плавлення вольфраму (3422°C) у порівнянні з вуглецевим (4440°C).

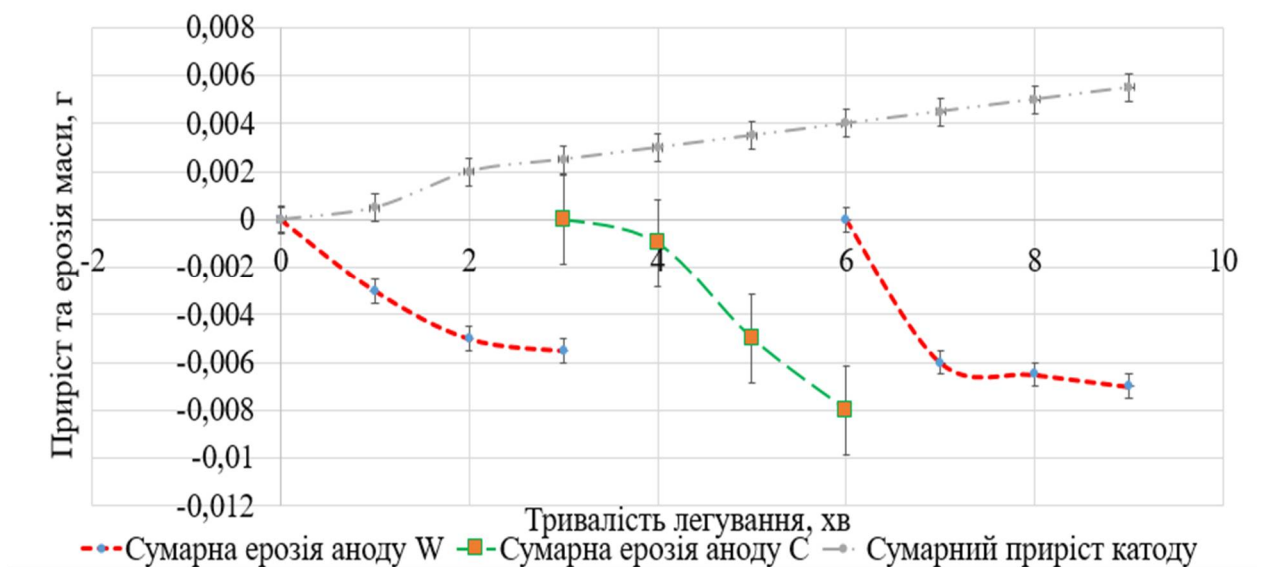


Рисунок 3.1 – Графік приросту маси катоду та ерозії анодів, ЕІЛ W – C – W

При ЕІЛ в послідовності C – W – C сталі 40X13, кінетика масоперенесення зображена на рисунку 3.2.

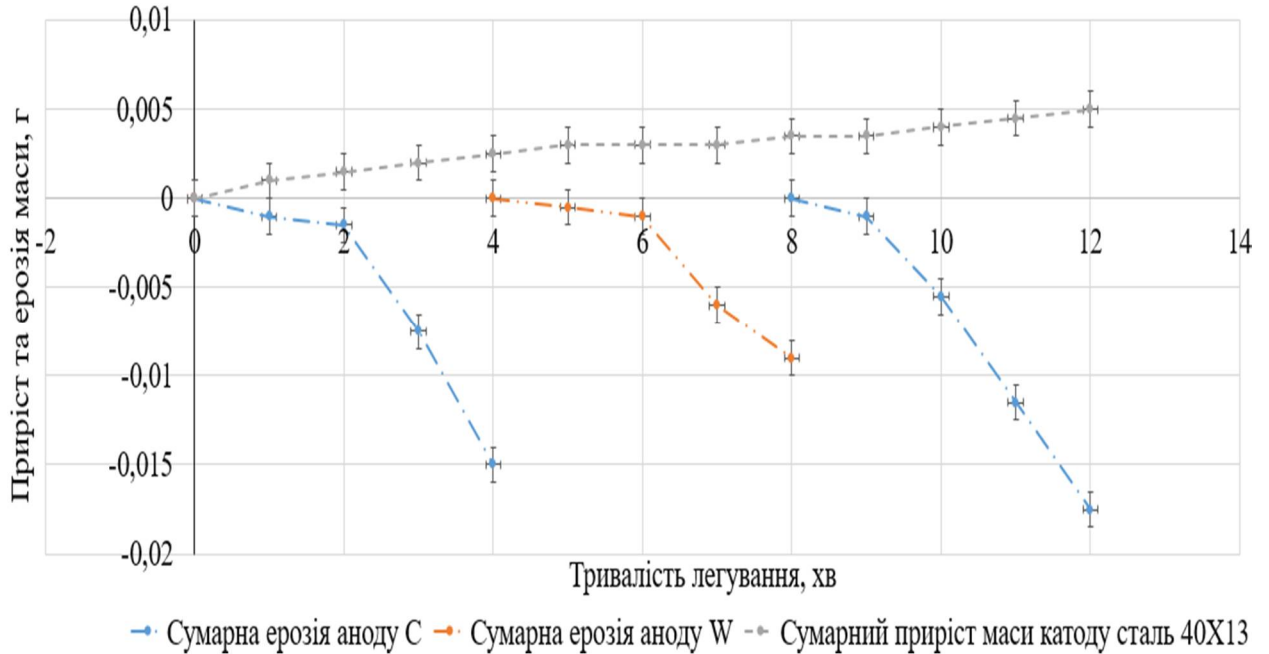


Рисунок 3.2 – Графік приросту маси катоду та ерозії анодів, ЕІЛ C – W – C

Сумарний приріст маси катоду збільшується при легуванні вольфрамом і при легуванні вуглецем. Більш інтенсивна ерозія спостерігається для вуглецевого аноду на третій стадії легування, що може бути пов'язано з зворотнім перенесенням на анод.

Мікроструктури зміцнених шарів сталі 40X13 у послідовності C – W – C та W – C – W, зображені на рисунку 3.3. Мікроструктура зміцнених шарів складається з легованого шару, зони термічного впливу та мікроструктури матеріалу основи. Зона легованого шару при послідовності W – C – W має товщину (15 – 20) мкм, а в послідовності C – W – C (20 – 25) мкм. У зоні термічного впливу спостерігається подрібнення зерен, що обумовлене короткочасним періодичним процесом нагріву з наступним швидким охолодженням.

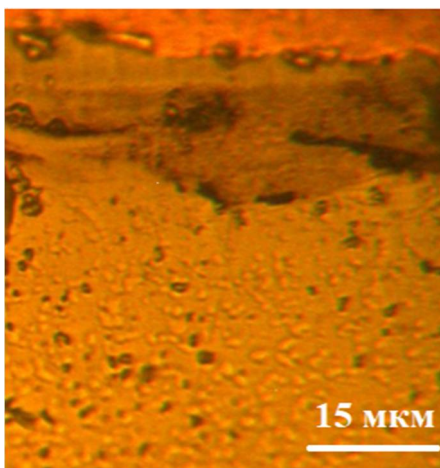


Рисунок 3.3 – Мікроструктура легованого шару сталі 40X13, ЕІЛ W-C-W

На рисунку 3.4 наведено фотографію мікроструктури зміцненого шару зразка сталі 40X13 після ЕІЛ у послідовності С– W– С.

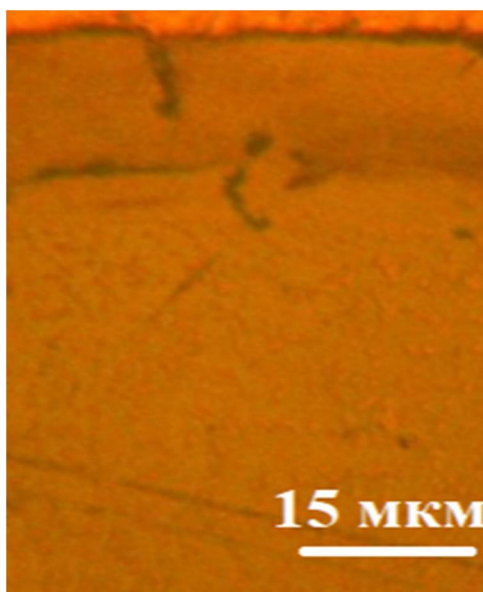


Рисунок 3.4 – Мікроструктура легованого шару сталі 40X13, ЕІЛ С-W-C

Мікротвердість легованих шарів проведених при різних режим пошарового нанесення розрізняється ЕІЛ сталі 40X13 в послідовності W – С – W приводить до зміни мікротвердості до значень 9,14 ГПа на рисунку 3.5, а в послідовності С – W – С до значення 11,5 ГПа, рисунок 3.6

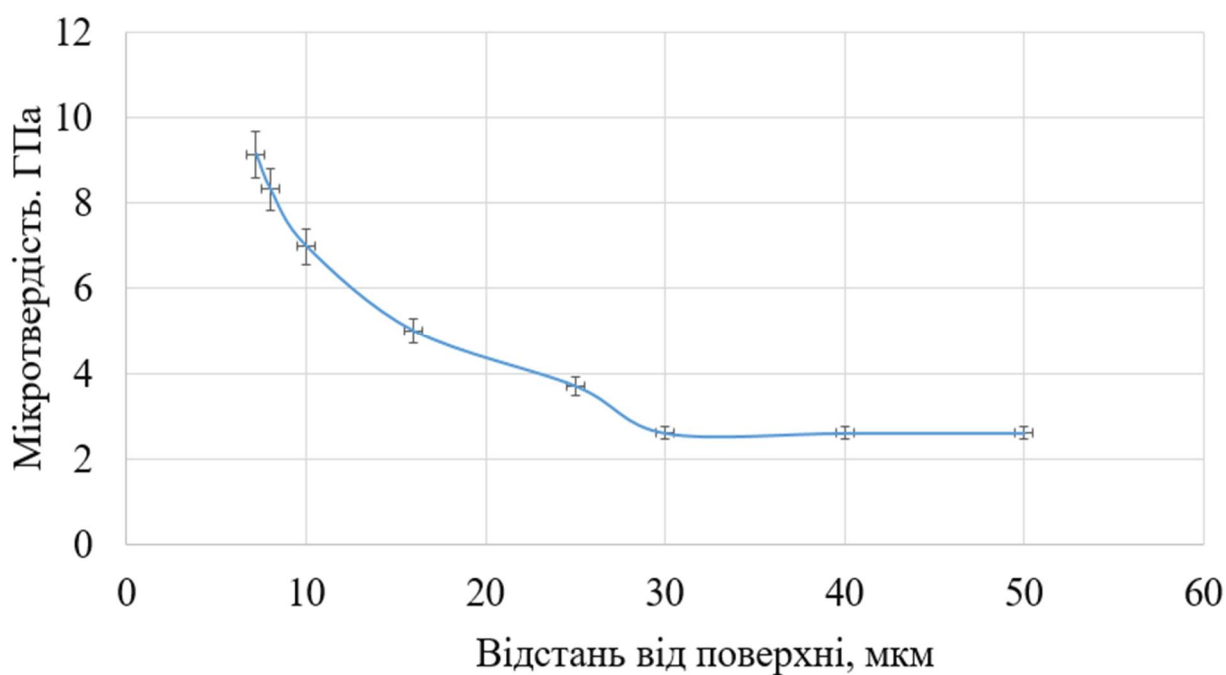


Рисунок 3.5 – Графік розподілу мікротвердості, ЕІЛ W – C – W

Зі збільшенням відстані від поверхні зразка, мікротвердість поверхневої зони плавно зменшується від 9,14 ГПа і досягає значення твердості сталі 40X13, яке становить (2,7 – 3) ГПа на глибині 40 мкм.

Мікротвердість поверхневої зони сталі 40X13 після послідовного ЕІЛ анодами у послідовності C – W – C представлено на рисунку 3.6.

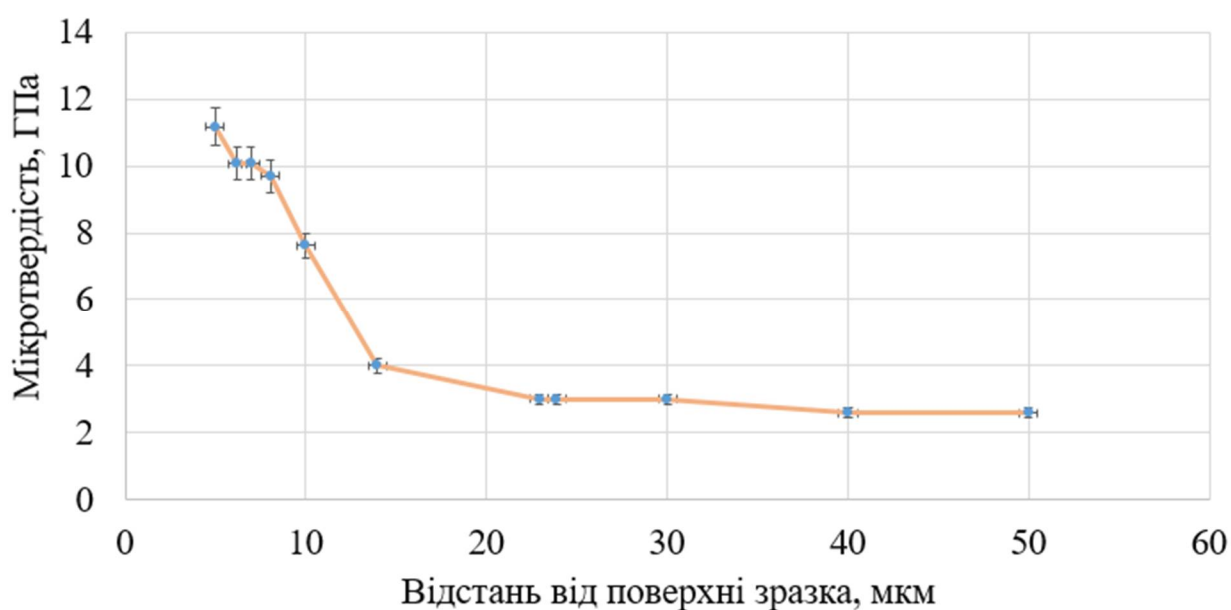


Рисунок 3.6 – Графік розподілу мікротвердості, ЕІЛ C – W – C

Мікротвердість легованої зони коливається в межах від 8 ГПа до 11,5 ГПа. В порівнянні з мікротвердістю легованого шару послідовності W – C – W відбулось підвищення значень мікротвердості, приблизно, на 2 ГПа.

Таким чином зміна послідовності нанесення анодів приводить до зміни значень мікротвердостію.

Результати рентгенофазового аналізу зразків сталі 40X13 після пошарового нанесення електроіскрової обробки анодами вольфраму та графіту наведено на рисунку 3.7.

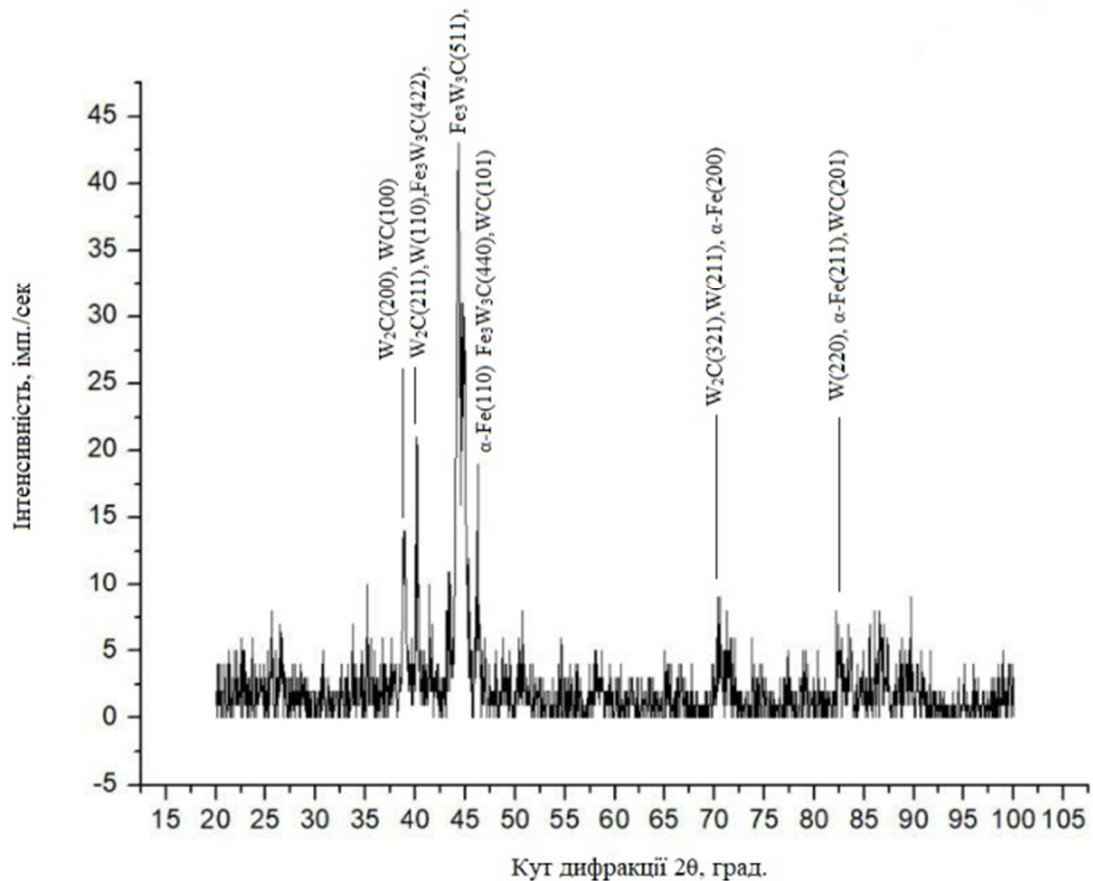


Рисунок 3.7 – Дифрактограма легованого шару сталі 40X13, після ЕІЛ
C – W – C

В таблиці 3.1 занесено результати, які було визначено з дифрактограми легованого шару, ЕІЛ C – W – C.

Таблиця 3.1 – Фазовий склад поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ у послідовності С – W – С

№ лінії	Кут дифракції, 2θ	Міжплощинна відстань d , Å	Фази (hkl)
1	38,78(3)	2,3204(16)	$W_2C(200)$, $WC(100)$
2	40,1379	2,24473	$W_2C(211)$, $W(110)$, $Fe_3W_3C(422)$,
3	43,1724	2,09372	$Fe_3W_3C(511)$,
4	44,45(3)	2,0364(11)	α -Fe(110)
5	46,4828	1,95203	$Fe_3W_3C(440)$, $WC(101)$
6	70,069	1,34179	$W_2C(321)$, $W(211)$, α -Fe(200)
7	82,3448	1,17006	$W(220)$, α -Fe(211), $WC(201)$

На рисунку 3.8 зображено результат рентгенофазового аналізу для сталі 40X13, ЕІЛ W – С – W.

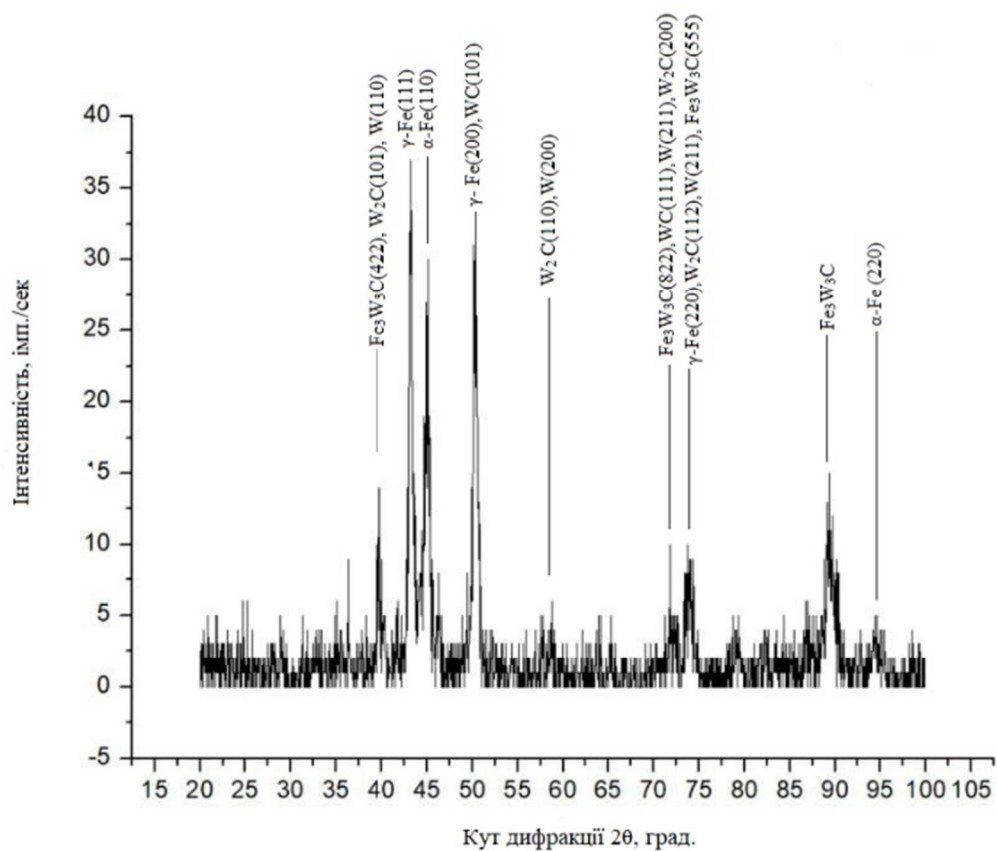


Рисунок 3.8 – Дифрактограма легovanого шару на сталі 40X13, після ЕІЛ W – С – W

До таблиці 3.2 внесено результати другої дифрактограми і з неї можемо спостерігати, що є зміни в кількості фаз, які відповідають певному піку та певному куту дифракції.

№ лінії	Кут дифракції, 2θ	Міжплощинна відстань d , Å	Фази (hkl)
1	39,3103	2,2906	$\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}(422)$, $\text{W}_2\text{C}(101)$, $\text{W}(110)$
2	43,15	2,095	$\gamma\text{-Fe}(111)$
3	45,15	2,007	$\alpha\text{-Fe}(110)$
4	50,21	1,8156	$\gamma\text{-Fe}(200)$, $\text{WC}(101)$
5	57,6552	1,59751	$\text{W}_2\text{C}(110)$, $\text{W}(200)$
6	71,7241	1,31484	$\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}(822)$, $\text{WC}(111)$, $\text{W}(211)$, $\text{W}_2\text{C}(200)$
7	73,77	1,283	$\gamma\text{-Fe}(220)$, $\text{W}_2\text{C}(112)$, $\text{W}(211)$, $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}(555)$
8	89,14	1,0976	$\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$
9	94,069	1,05264	$\alpha\text{-Fe}(220)$

Таблиця 3.2 – Фазовий склад поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ у послідовності W – C – W

3.2 Електроіскрове легування сталі 40X13 за схемами W – C – W – C та C – W – C – W

Проведено ЕІЛ сталі 40X13 з почерговим нанесенням анодів у послідовності C – W – C – W. Кінетику масоперенесення показано на рисунку 3.9.

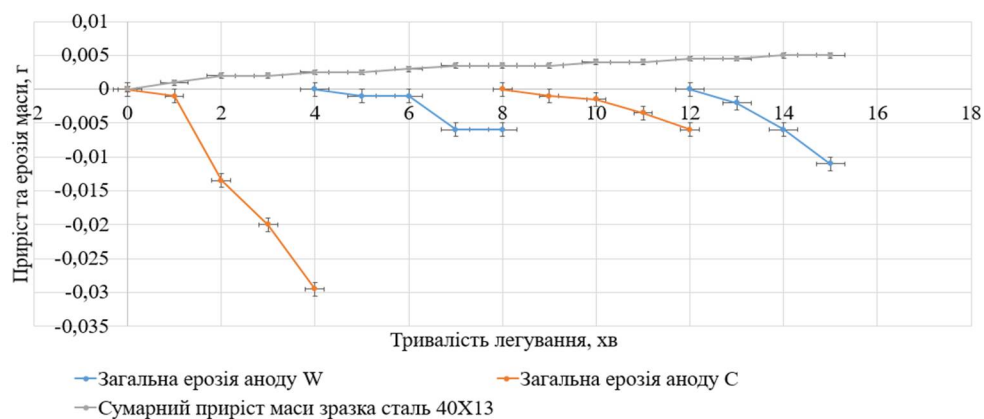


Рисунок 3.9 – Графік приросту маси катоду та ерозії анодів, ЕІЛ

C – W – C – W

Сумарний приріст маси катоду збільшується при легуванні вольфрамом і при легуванні вуглецем. Це пов'язано з тим, що матеріал аноду переноситься на поверхню катоду рівномірно в обох випадках. Більш інтенсивна ерозія спостерігається для вуглецевого аноду, це пов'язано з крихкістю матеріалу.

Проведено ЕІЛ сталі 40Х13 з пошаровим нанесенням анодів у послідовності W-C-W-C. Кінетику масоперенесення показано на рисунку 3.10.

З даного графіка гравіметричного аналізу, а саме з рівномірного приросту маси катоду можна стверджувати, що масоперенесення відбувається рівномірно. По ерозії катодів можна побачити, що як і в попередніх зразків ерозія аноду вуглецю більша в порівнянні з вольфрамовим анодом. Це пояснюється тим що під час проведення легування відбуваються інтенсивні вібрації пристрою, що є його технологічною особливістю і як наслідок під час обробки анод взаємодіє з поверхнею катоду, а вуглець є доволі крихким матеріалом і в результаті ми можемо спостерігати підвищену його ерозію.

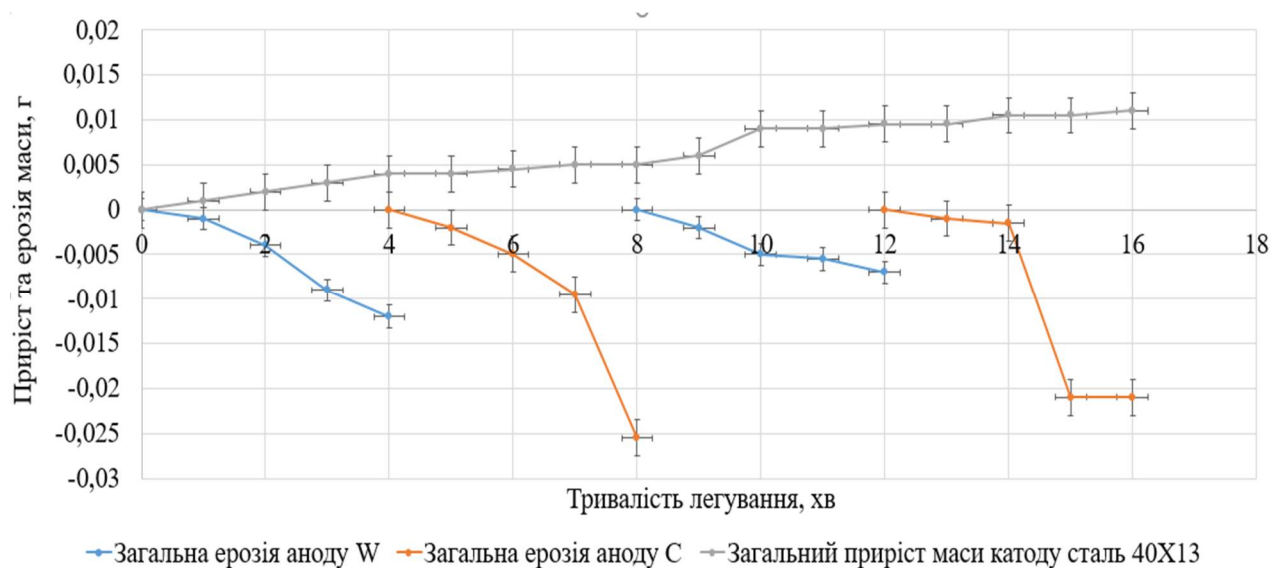


Рисунок 3.10 – Графік приросту маси катоду та ерозії анодів, ЕІЛ

W – C – W – C

На рисунку 3.11 зображено мікроструктуру отриманого зміцненого шару зразка сталі 40X13 після ЕІЛ анодами у послідовності С – W – С – W . Мікроструктура зміцнених шарів складається з легованого шару, зони термічного впливу та мікроструктури матеріалу основи. Зона легованого шару має товщину (20 – 25) мкм.

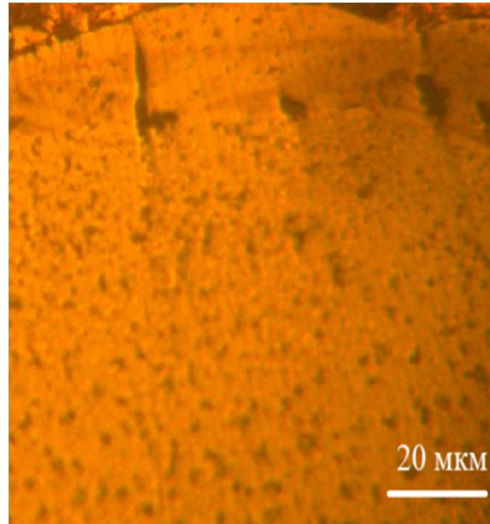


Рисунок 3.11 – Мікроструктура легованого шару сталі 40X13, ЕІЛ
С – W – С – W

Результати мікроструктурного аналізу сталі 40X13 після ЕІЛ анодами у послідовності W – С – W – С наведені на рисунку 3.12. Зона легованого шару має товщину (22 – 27) мкм.

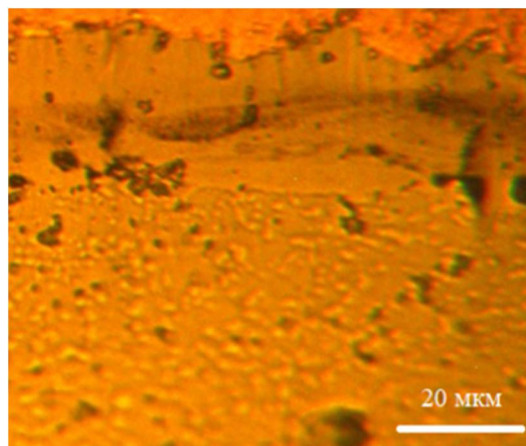


Рисунок 3.12 – Мікроструктура легованого шару сталі 40X13, ЕІЛ
W – C – W – C

МікродюрOMETричний аналіз сталі 40X13 після ЕІЛ (C – W – C – W) на рисунку 3.13, показав, що на відстані (8 - 22) мкм мікротвердість зросла до (8 – 12,5) ГПа.

В порівнянні з першим експериментом ми бачимо приріст мікротвердості, приблизно, 10 %, що є високим показником, змінивши тільки послідовність легування на (C – W – C – W) і залишивши незмінні інші параметри, такі як сила струму, напруга, та час легування.

Мікротвердість легової зони коливається від 10 ГПа до 11,5 ГПа. В порівнянні з першим дослідом ми бачимо значний приріст мікротвердості на більшій відстані від поверхні, на якій проаодилось легування, змінивши тільки послідовність легування і залишивши незмінні інші параметри, такі як сила струму, напруга, та час легування.

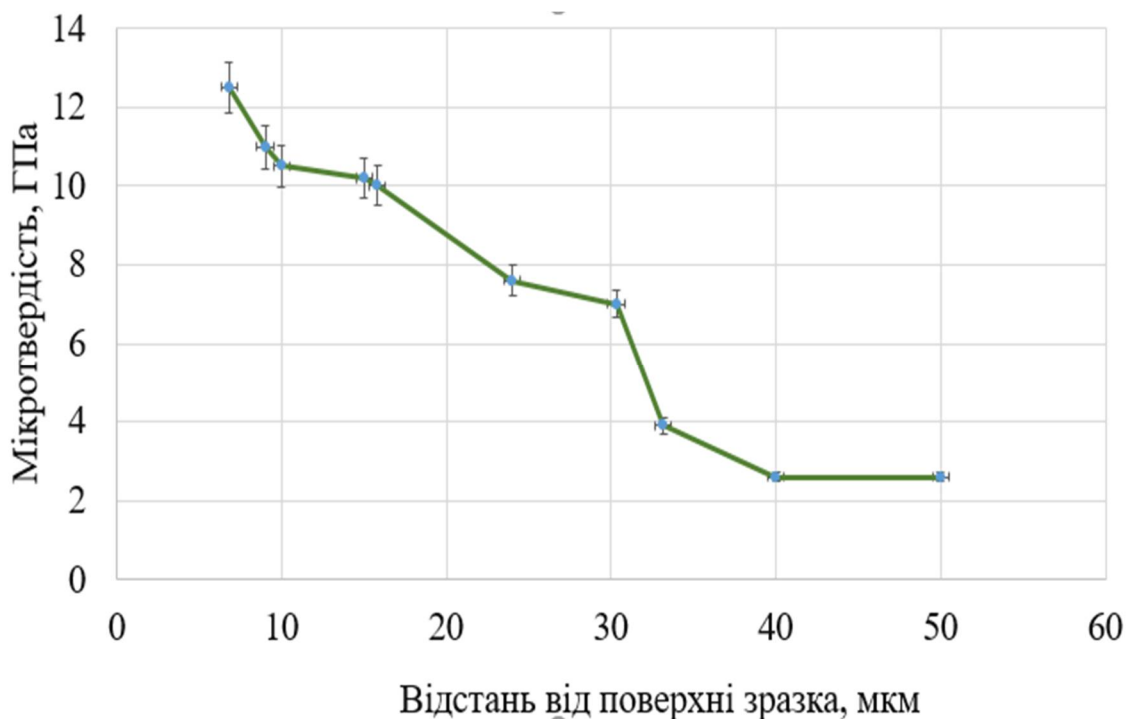


Рисунок 3.13 – Графік розподілу мікротвердості, ЕІЛ C – W – C – W

Мікротвердість поверхневої зони сталі 40Х13 після ЕІЛ анодами у послідовності W – C – W – C представлено на рис. 3.14

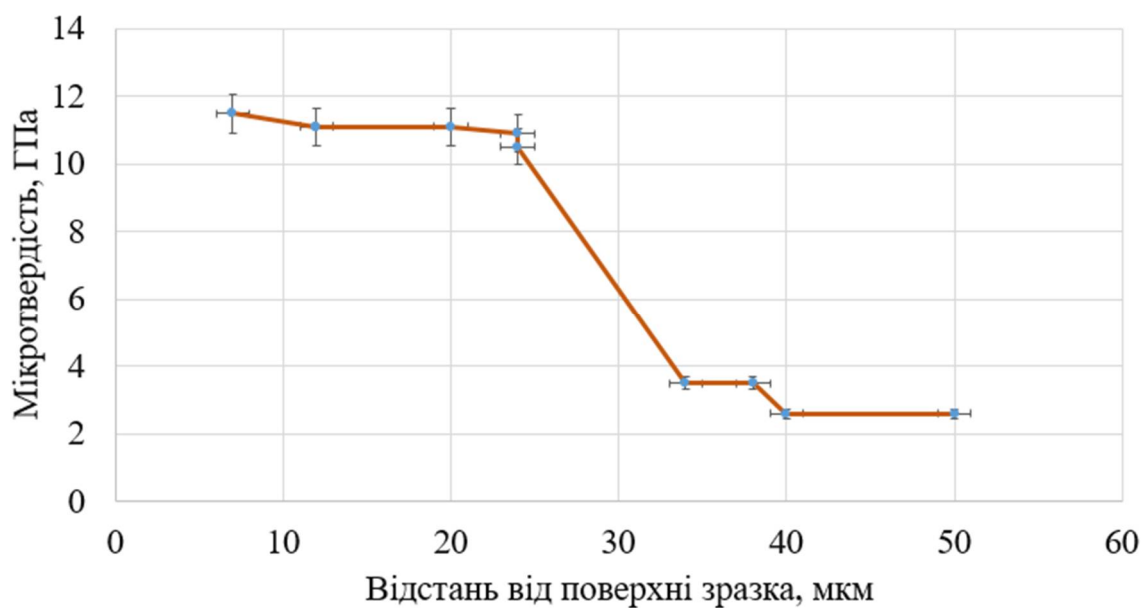


Рисунок 3.14 – Графік розподілу мікротвердості, ЕІЛ W – C – W – C

Для пошарового легування, ЕІЛ C – W – C – W, було проведено також рентгенофазовий аналіз, результат якого можемо спостерігати на рисунку 3.15

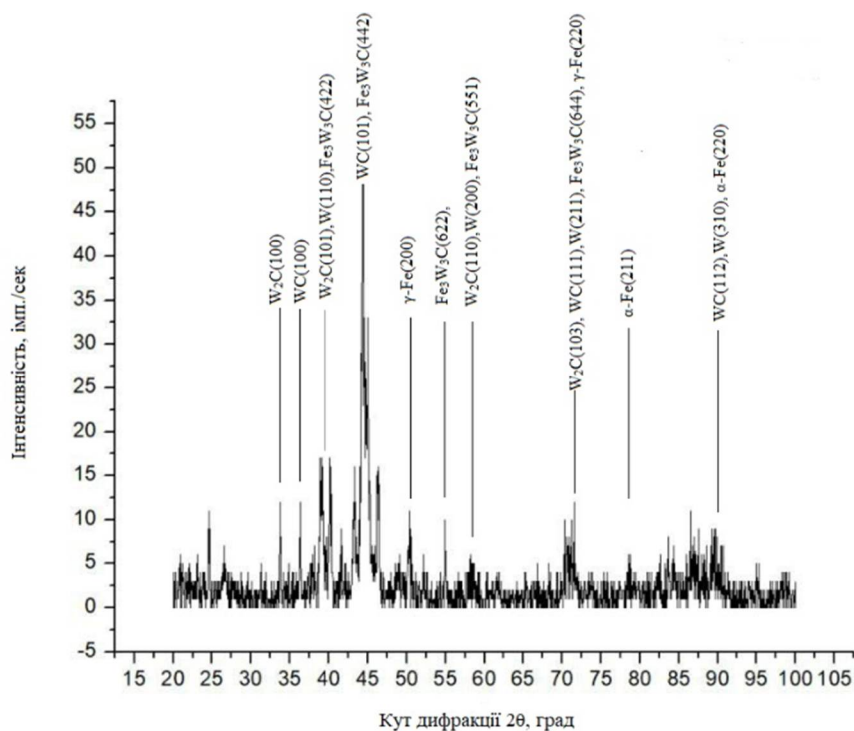


Рисунок 3.15 – Дифрактограма легованого шару на сталі 40X13, після ЕІЛ
С – W – С – W

В наступній таблиці 3.3 можемо спостерігати доповнення до рисунку 3.15, а саме зазначення кутів дифракції та міжплощинних відстаней, а також фаз, які їм відповідають.

Таблиця 3.3 – Фазовий склад поверхневої зони сталі 40X13 після ЕІЛ у послідовності С – W – С – W

№ лінії	Кут дифракції, 2θ	Міжплощинна відстань d , Å	Фази (hkl)
1	33,7931	2,65025	$W_2C(100)$
2	36,4138	2,4653	$WC(100)$
3	38,93(3)	2,3114(16)	$W_2C(002)$,
4	40,12(7)	2,246(4)	$W_2C(101)$, $W(110)$, $Fe_3W_3C(422)$,
5	41,5172	2,17328	$\gamma-Fe(111)$
6	43,3103	2,08737	$Fe_3W_3C(511)$
7	44,25(5)	2,045(2)	$\alpha-Fe(110)$
8	46,3448	1,95752	$Fe_3W_3C(440)$,
9	48,6897	1,86858	$WC(101)$, $Fe_3W_3C(442)$,
10	50,3448	1,81096	$\gamma-Fe(200)$
11	55,0345	1,66722	$Fe_3W_3C(622)$,
12	58,2069	1,58368	$W_2C(110)$, $W(200)$
13	70,3448	1,3372	$W_2C(103)$, $WC(111)$, $W(211)$
14	78,6207	1,21587	$\alpha-Fe(211)$

3.3 Висновки до розділу 3

1. Показана можливість формування зміцнених покриттів на поверхні сталі 40X13 з мікротвердістю 9 ГПа – 12,5 ГПа пошаровим електроіскровим легуванням вольфрамом та вуглецем при різних послідовностях нанесення.

2. Встановлено, що зміна послідовності пошарового ЕІЛ сталі 40X13 анодами W, С впливає на фазовий склад легованого шару, мікроструктуру та мікротвердість. Найвищу мікротвердість – 12,5 ГПа має легований шар сталі 40X13 при ЕІЛ в послідовності С – W – С – W, що зумовлено формуванням суміші карбідів волфраму - W_2C , WC , Fe_3W_3C .

3. Показано, що мікротвердість легованого шару при ЕІЛ в послідовності С – W – С – W має значення: 11,5 ГПа, ЕІЛ в послідовності W – С – W – С - 11 ГПа, в послідовності W – С – W - 9,1 ГПа.

4. Виявлено, що найбільшу товщину (до 30 мкм) має легований шар утворений при ЕІЛ за схемою С – W – С. При інших послідовностях обробки товщина легованого шару не перевищує 20 мкм.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Актуальність

Мета розділу полягає у проведенні маркетингового аналізу стартап проекту для отримання можливості його ринкового впровадження та майбутніх напрямів реалізації даного виду обробки. Для забезпечення економії дорогих марок сталей, які використовують для виготовлення деталей у машинобудуванні, інструментів необхідно використовувати різні функціональні покриття на більш дешевших сталей. Це дозволить підвищити їх експлуатаційні властивості і скоротити затрати на їхнє виробництво. Ці покриття повністю задовольняють потреби машинобудування та металообробки. Електро-іскрове легування – це один із основних способів зміцнення при поверхневих шарів металів та їх сплавів, це досить ефективний метод обробки, який економічно вигідний у наш час .

4.2 Опис ідеї стартап - проекту

Ідея проекту спрямована на створення зміцнених покриттів на сталі медичного призначення 40X13 на основі W та C з метою забезпечення стійкості до корозій та покращення механічних властивостей зразка для запобігання руйнування матеріалу в агресивних середовищах та під дією різних навантажень, оскільки даний матеріал використовується як тримач медичних голок та хірургічний скальпель (таблиці 4.1, 4.2).

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап - проекту – створення зміцнених покриттів для сталі 40X13

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода користувача
Створення зміцнених покриттів для метаріалу сталь 40X13 з метою	Матеріал для створення хірургічних скальпелів. Матеріал для затискових	Отримання надійного матеріалу зі збільшеним строком експлуатації,

Продовження таблиці 4.1

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода користувача
Покращення механічних властивостей	Механізмів, наприклад, затискачів голок.	Який відповідає заданим характеристикам і завдяки своїм хорошим властивостям може витримувати більші навантаження та може працювати в агресивних середовищах, також завдяки особливостям технології EIL забезпечення вищеописаних пунктів є досить дешевим рішенням

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту – створення зміцнених покриттів з матеріалу сталь 40X13 з W та C для підвищення механічних властивостей матеріалу

№	Техніко-економічні характеристик и ідеї	Потенційні конкуренти *			
		Наш проект	Конкурент 1 "EXOMED "	Конкурент 2 "PEDODONTIC"	Конкурент 3 "LUSSATORE"
1	Собівартість	Нижча	Вища	Вища	Стандартна
		S	W	W	S
2	Життєвий цикл	Вищий	Нижчий	Нижчий	Вищий
		S	W	W	S

Продовження таблиці 4.2

3	Стійкість до складних умов роботи	Вищий	Нижчий	Нижчий	Нижчий
		S	W	W	W
4	Мікротвердість	Вищий	Вищий	Нижчий	Нижчий
		S	S	W	W

* W (слабка сторона), N (нейтральна сторона), S (сильна сторона).

Потенціал для даного стартап - проекту має високоміцне покриття з W та C на основі сталі 40X13, яке запропоноване для використання як матеріал для хірургічного інструмент, що працює в агресивних середовищах та потребує високої зносостійкості та підвищених фрикційних властивостей (рис. 4.1). Дослідження структури та властивостей даного матеріалу ще триває, тому оцінку ринкової спроможності можна дати лише в обмеженому вигляді.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд хірургічного скальпелю із сталі 40X13 медичного призначення та покриття з W та C

Даний проект в майбутньому є технологічно здійсненним, адже об'єкт даного дослідження (сталь 40X13) є перспективним матеріалом для використання в галузі хірургії також даний матеріал є перспективним в будь-якій галузі, оскільки він добре піддається електроіскровому легуванню тобто зміцненні покриття, які є економічно рентабельними знайдуть застосування в обробці металів різанням, наприклад, токарні різці, пуансони для

металорізальних матриць при обробленні холоднокатаного листового металу.

У таблиці 4.3 представлені технології, які були використані для виготовлення та електроіскрового легування експериментальних зразків.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту – створення зміцнених покриттів з матеріалу сталь 40X13 з W та C для підвищення механічних властивостей матеріалу

Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Підготування поверхні (знежирення)	Технологія існує	Доступна
Електроіскрове легування W – C протягом 6 хвилин	Технологія існує	Доступна
Електроіскрове легування W – C протягом 6 хвилин	Технологія існує	Доступна

Електроіскрове легування знайшло застосування в галузях машинобудування та металообробки: автомобільне виробництво; загальне машинобудування; виробництво технологічної оснастки; обробка штампів для термічної обробки металів; підвищення ріжучих властивостей обробного інструменту; зміцнення зубів шестерень; підвищення зносостійкості шийок колінчастих валів і інші області застосування; ремонтні операції при відновленні працездатності пошкоджених деталей.

Завдяки локалізації площі обробки, спосіб електроіскрового зміцнення застосовують часових справ майстри, ювеліри. Прижився метод у любителів створювати діючі металеві копії автомобілів, кораблів, літаків. Метод дозволив наносити покриття на скло і кераміку.

Установка електроіскрового легування подає імпульси з заданою частотою на електромагнітний збудник. Якір електромагніту, пов'язаний з прикріпленим електродом. Останній, вагаючись, вступає в контакт з оброблюваною деталлю. Виникає електричний розряд, викликаний струмом

великої щільності (до декількох тисяч ампер). Виділяється велика кількість теплової енергії. Під дією високих температур, частина лігатури розплавляється. Під впливом електромагнітного поля, розплав осідає на поверхні виробу.

У точці обробки виникає мікролунка, на краю якої потрапляє розплавлений метал. Надаючи анода (легуючих електроду) поступальний рух, створюється лінія з нанесеним матеріалом.

Щоб створити суцільне цілісне покриття на катоді (легуючу поверхню), швидкість переміщення анода повинна бути менше або дорівнює тривалості імпульсу. Тобто, при частоті 100 Гц, тривалість імпульсу становить 0,01 секунди. Прохідний шлях за цей час – не більше діаметра проплавлення лунки. Дотримуючись такої режим обробки, вдається створити суцільне монолітне захисне покриття.

У таблиці 4.4 визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи. Проведена оцінка ринку, наведена в таблиці 4.4, дозволяє зробити висновок, що входження на ринок з даним стартап-проектом цілком можливе

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап - проекту – створення зміцнених покриттів з матеріалу сталь 40X13 з W та C для підвищення механічних властивостей матеріалу

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимога споживачів до товару
1.	Високі фізико-хім.	Компанії, які	Різна купівельна	Висока

Продовження таблиці 4.4

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимога споживачів до товару
	Властивості, значне підвищення міцності та зносостійкості за досить невеликі вкладення, довговічність покриття на деталі, актуальність технології найближчим часом	Виготовляють хірургічний інструмент, різальний інструмент; компанії, які виготовляють хірургічний тримальний інструмент	Здатність; різні категорії потреби (різальний інструмент, затискуєчий інструмент)	Надійність, підвищені характеристики порівняно з стандартним виробом, низька собівартість, висока якість, зменшення браку
2	Висока стійкість до агресивних середовищ, висока мікротвердість, та здатність деталей виконувати циклічну роботу без втрати властивостей			Здатність використовувати виріб протягом довгого часу без втрати його актуальності

. У таблиці 4.5 проведено аналіз факторів, які можуть вплинути на реалізацію проекту.

Таблиця 4.5 – Фактори загроз стартап - проекту – створення зміцнених покриттів з матеріалу сталь 40X13 з W та C для підвищення механічних властивостей матеріалу

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Нестабільність політичної та економічної ситуації	Страх інвесторів через нестабільність економічної ситуації	Приймання участі в програмах, в тому числі міжнародних, для залучення додаткових інвестицій
	Миттєве підвищення цін, відповідно необхідність більших ресурсів, відповідно дисбаланс економічного стану виробництва	Залучення додаткових інвестицій, використання альтернативних джерел енергії, для того щоб зробити собівартість виготовлення виробу як можна нижчою при цьому не економити на якості
		виготовлення хірургічного інструменту, який є примхливим до якості, оскільки хірургія є такою галуззю, де не може бути ніякої економії

4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження

Планова собівартість виконання дослідження, як один з найважливіших економічних показників, відображає рівень матеріальних та трудових витрат, а її планування забезпечує отримання необхідних

результатів при мінімальних витратах. Обчислення собівартості дослідження здійснюється за наступними калькуляційними статтями:

- 1) витрати на основні матеріали;
- 2) витрати на спецобладнання, необхідне для проведення експерименту;
- 3) витрати на заробітну платню персоналу;
- 4) відрахування в соцстрах;
- 5) витрати на службові відрядження;
- 6) витрати на послуги сторонніх організацій;
- 7) інші невраховані прямі витрати по темі;
- 8) накладні витрати.

4.3.1 Витрати на основні матеріали

Витрати на основні і допоміжні матеріали, які необхідні для проведення експерименту, проводяться виходячи із вартості та необхідної кількості матеріалів. Дані про матеріали, які необхідні для проведення експерименту наведені в таблиці. 4.6.

Таблиця 4.6 – Вартість основних матеріалів

Найменування матеріалів	Одиниця вимірюв.	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
1. Чистий W (марка ВЧ)	кг	0,1	4840	484
2. Чистий С (марка ТХ 175)	кг	0,03	900	27
4. Фенольна смола	кг	0,1	150	15
5. Шліфувальний папір	шт	2	35	70
6. Спирт Етиловий 96 %	літр	0.1	150	15
7. Сульфатна кислота	літр	0,03	210	6,3
В цілому				617,3

Транспортні витрати приймаємо в розмірі 25 % від ринкової вартості:
 $617,3 \cdot 0,25 = 154,325$ грн.

Повна сума витрат на матеріали: $617,3 + 154,3 = 771,6$ грн.

4.3.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

Всі роботи виконуються на обладнанні, що є в наявності на кафедрі ФМ надається магістрантам безкоштовно, тому дані витрати можна віднести до накладних витрат. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання відносяться до накладних витрат.

4.3.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова

Витрати за цією статтею складаються з основного та додаткового фонду заробітної плати.

Денна заробітна плата виконавців (таблиці 4.7) визначається, виходячи з місячних окладів при умові, що середня кількість робочих днів в місяць – 22.

Таблиця 4.7 – Розрахунок денної заробітної платні виконавців теми

Виконавець	Місячний оклад, грн	Денна ЗП, грн.
Відповідальний виконавець теми, Фахівець в даній галузі	12100	550
Інженер-експериментатор	7040	320
Працівник лаборант	5500	250

Винагорода, обчислена, зазвичай, у грошовому виразі, яку за трудовим договором власник або уповноважений ним орган виплачує працівникові за виконану ним роботу. Розмір зарплати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства.

Тривалість окремих етапів виконання дослідження наведена в

таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Трудомісткість різних етапів виконання науково дослідницької роботи

Етапи дослідження	Трудомісткість, людино/день		
	Відповідальний виконавець теми	Інженер-експ.	Робочий
1. Постановка задачі та визначення напрямів дослідження	2	2	-
2. Вивчення літератури	-	9	-
3. Розробка методики проведення робіт	9	12	5
4. Підготування зразків	-	-	3
5. Підготовка обладнання	-	3	5
6. Проведення експериментів	-	8	9
7. Обробка експериментальних результатів	-	12	4
8. Обговорення результатів	5	6	7
9. Оформлення результатів	8	12	3
Разом	24	64	36

Сума прямого та додаткового фондів заробітної платні: $\text{ПФЗ} + \text{ДФЗП} = 42680 + 12804 = 55484$ грн.

Величина прямого фонду заробітної платні (ПФЗП) визначається як добуток трудомісткості на денну заробітну платню виконавця: $\text{ПФЗП} = 24 \cdot 550 + 64 \times 320 + 36 \cdot 250 = 42680$ грн.

Додатковий фонд заробітної платні (ДФЗП) складає 30 % від прямого фонду: $\text{ДФЗП} = \text{ПФЗП} \cdot 0,3 = 12804$ грн.

4.3.4 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи складають 22 % від повного фонду заробітної плати.

Таким чином, відрахування на соціальні заходи складуть: $V_c = (ПФЗП + ДФЗП) \cdot 0,22 = 55484 \cdot 0,22 = 12206$ грн.

4.3.5 Витрати на службові відрядження

Згідно з планом та тривалістю даного дослідження службові відрядження не передбачаються.

4.3.6 Витрати на послуги сторонніх організацій

Згідно з планом даного дослідження послуги сторонніх організацій не передбачаються.

4.3.7 Інші прямі невраховані витрати

Інші прямі невраховані витрати становлять 10 % від суми витрат на заробітну плату, суми відрахувань до єдиного соціального внеску, витрат на матеріали: $П_n = (55484 + 12206 + 617,3) \cdot 0,1 = 6830,73$ грн.

4.3.8 Накладні витрати

Сумарна величина накладних витрат включає в себе наступні статті:

- а) заробітна плата адміністративно-управлінського, господарського та допоміжного персоналу з єдиним соціальним внеском;
- б) витрати по допоміжному виробництву;
- в) витрати по утриманню та експлуатації виробничих площ;
- г) вартість придбання та витрати на утримання та експлуатації устаткування та приладів універсального характеру;
- д) витрати по охороні праці та техніці безпеки;
- е) витрати на підготовку кадрів;

ж) витрати на силову електроенергію;

з) інші витрати.

За нормативами для КПІ ім. Ігоря Сікорського величина накладних витрат складає 20 % від основної заробітної платні персоналу науково дослідної роботи: $H_v = 42680 \cdot 0,2 = 8536$ грн.

4.3.9 Планова кошторисна вартість дослідження

Зроблені розрахунки дозволяють визначити загальну планову кошторисну вартість виконання дослідження. Плановий кошторис витрат по темі досліджень наведено в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Планова кошторисна вартість дослідження

Назви калькуляційних статей	Позначення	Сума		Примітки
		грн.	% до загального	
Пряма та додаткова зарплатня персоналу	$Z_{\text{пд}}$	55 484	66,3%	За розрахунком
Відрахування на соціальні заходи	B_c	12 206	14,58%	22% від ЗП
Витрати на матеріали	C_m	617,3	0,73%	За розрахунком
Витрати на обладнання	$C_{\text{об}}$	-	-	Не планується
Витрати на службові відрядження	C_v	-	-	Не планується
Роботи та послуги сторонніх організацій	C_i	-	-	Не планується
Інші невраховані прямі витрати по темі	P_n	6 830,7	8,16%	10% від врахованих прямих витрат
Накладні витрати	H_v	8 536	10,20%	20 % від основної заробітної плати
Разом	Z	83 674	100%	-

4.4 Висновки до розділу 4

1. Була проведена оцінка ринкових можливостей старап – проекту «створення зміцнених покриттів на сталі медичного призначення 40X13 на основі W та C з метою забезпечення стійкості до корозії та покращення механічних властивостей зразка для запобігання руйнування матеріалу в агресивних середовищах та під дією різних навантажень». Впровадження проекту є перспективним, широкий ринок пропонованих матеріалів для деталей хірургічної галузі. Проект потребує подальших досліджень для проведення повної оцінки його ринкових спроможностей.

2. Дослідження властивостей та більших можливостей застосування електроіскрового легування, а саме на прикладі сталі медичного призначення 40X13 досі триває, тому повністю оцінити ринкову спроможність та створити маркетингову модель товару неможливо. В дисертаційній роботі були досліджені фундаментальні явища, а саме: вплив електроіскрового легування конкретно вуглецем і вольфрамом в нашому випадку на сталі медичного призначення а саме їх мікротвердість і здатність протистояти агресивним середовищам, а також структуру та її зміни після обробки і вплив різних видів навантажень на структуру. Вивчення EIL і досі триває, тому цей метод легування є неабияким перспективним.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою цього розділу є належний захист особового складу робітників під час електроіскрового легування вольфрамовими та вуглецевими анодами, катоду сталь 40х13.

У даному розділі розглянуто засоби охорони праці під час виконання досліджень, що проводилася на «Елітрон-26». Аналізуючи умови праці при виконанні даної НДР потрібно розглянути наступні чинники:

- мікроклімат;
- склад повітря робочої зони;
- шум;
- вібрації;
- освітлення;
- електричний струм;
- випромінювання від обладнання наявного в кабінеті та комп'ютера.

5.1 Аналіз наявності шкідливих та небезпечних виробничих факторів

5.1.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату

Усі дослідницькі і наукові та дослідницькі роботи виконувались на кафедрі фізики металів КПІ ім. Ігоря Сікорського в кабінеті № 036, 0 поверх, корпусу № 9.

Приміщення, в якому виконувалась НДР, має наступні установки:

1 – твердомір ПМТ – 3, 2 – тумба, 3 – комп'ютер, 4 – робочі столи, 5 – дошка, 6 – шафа, 7 – стіл для шліфування, 8 – прилад для вимірювання зносостійкості, 9 – прилад «Елітрон - 26», 10 – полірувальні (фінішувальні) круги, 11 - стіл. Зроблено заміри приміщення, яке зображено на рисунку 5.1, кабінету та віконних рам:

- розміри аудиторії: ширина – 6 м, довжина – 7 м, висота 3,8 м.
- розмір вікон: ширина – 2,7 м, висота – 2,5 м.

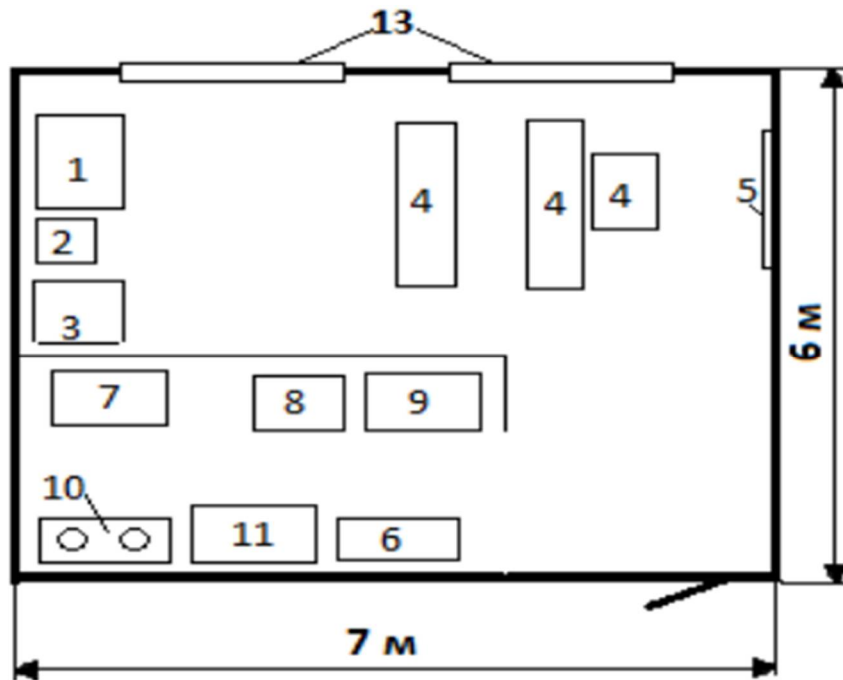


Рисунок 5.1 – Схема аудиторії, в якій виконувалася науково-дослідницька робота

Аудиторія, в якій працює 6 чоловік має площу 42 м^2 , об'єм $156,9 \text{ м}^3$. Площа, яка приходить на одну людину – 7 м^2 , об'єм $\sim 26,15 \text{ м}^3$. Таким чином площа та об'єм аудиторії, згідно з ДсанПін 3.32-007098, де на одну людину повинно приходитись не менше 6 м^2 площі та 20 м^3 об'єму, відповідають нормам.

Важливе значення для нормальної працездатності людини має чисте повітря потрібного хімічного складу і оптимальної температури, вологості та швидкості руху, тому виконання науково-дослідної роботи супроводжувалося дослідженням мікроклімату в приміщенні лабораторії [27].

Для забезпечення оптимально мікроклімату «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.042-99 встановлюють оптимальні і допустимі значення температури, швидкість руху повітря та відносну вологість в робочій зоні в залежності від пори року та категорії складності робіт, як це зображено в таблиці 5.1. Також розрізняють категорії робіт за важкістю: Легка Іа, Легка Іб, Середньої важкості Іа, Середньої важкості Іб, Важка ІІІ [31].

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 категорія важкості робіт, що виконувалась в науково- дослідницькій роботі – легка Іб. До даної категорії відносять легкі фізичні роботи до 150 Ккал/год, що супроводжується певною фізичною напругою та виконуються в сидячому або стоячому положенні; і роботи пов’язані з ходінням [31].

Таблиця 5.1 – Величина параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії 036

Період року	Температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Виміряна	Допуст-ма	Виміряна	Допуст-ма	Вимір-на	Допусти-ма
Холод-ний	20	17...25	70	Менше 75	0,1	Менше 0,2
Теплий	23	19...30	55	Менше 60, при 27 °С	0,2	0,1...0,3

Можна зробити висновок, що мікроклімат в кабінеті 036 відповідає вимогам санітарних норм

5.1.2 Склад повітря робочої зони

Чистота повітря в лабораторії визначається вмістом шкідливих речовин та пилом. Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій, які використовуються при проектуванні виробничих будівель, технологічних процесів, обладнання, вентиляції. За ГОСТ 12.1.005-88 встановлені гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони виробничих приміщень. Надходження до повітря робочої зони тієї чи іншої шкідливої речовини залежить від технологічного процесу та сировини, що

використовується [34].

В даній лабораторії 036 з оброблюваними матеріалами проводяться процеси полірування, шліфування та травлення але кімната 036 обладнана загальнообмінної припливно – витяжною системою, згідно наступних положень. При проектуванні забирання зовнішнього повітря та викиду назовні витяжного повітря слід передбачати наступне:

- забирання зовнішнього повітря слід здійснювати із зон з якомога чистим, не вологим і прохолодним (у теплий період року) повітрям;
- викид назовні витяжного повітря слід здійснювати так, щоб унеможливити загрозу для здоров'я людей чи шкоду для будівлі або навколишнього середовища.

Місце забирання зовнішнього повітря не допускається розташовувати на відстані ближче ніж 8 м по горизонталі від сміттєзбірника, зони паркінгу автомобілів (для трьох або більшої кількості), проїздів, зон вантаження, вентиляційних отворів каналізації, верхівок димових труб та інших подібних джерел забруднення та утворення неприємного запаху. Повітрозабірник не допускається розміщувати на фасаді, що виходить на жваву вулицю. Якщо це неможливо, то приймальний отвір повітрозабірника повинен бути якомога вище від землі. Приймальний пристрій зовнішнього повітря у незахищеному від сонця місці, на даху або стіні слід облаштовувати або захищати так, щоб повітря не було надмірно нагріте у теплий період року. Низ отвору приймального пристрою зовнішнього повітря слід розташовувати на висоті не менше ніж 1 м від рівня стійкого снігового покриву, який визначають згідно з даними гідрометеостанцій або за розрахунком та не нижче 2 м від рівня землі.

Низ отвору приймального пристрою зовнішнього повітря, розташованого на даху або покритті будівлі, повинен бути на висоті в 1,5 раза більшій від максимально можливої висоти снігового покриву. Ця висота може бути зменшена, якщо застосовані засоби захисту від снігового покриву, наприклад, заслін від снігу. Якщо існує ризик попадання в систему вентиляції води у будь-якій формі (сніг, дощ тощо) або пилу (включаючи

листя тощо), розміри незахищеного отвору приймального пристрою зовнішнього повітря визначають за розрахунком відповідно до ДСТУ 13030.

5.1.3 Аналіз шуму

Шум – це механічні коливання часток пружного середовища (газу, рідини, твердого тіла), що виникають під впливом будь-якої зовнішньої сили. Науково-дослідницька робота виконувалась на установці «Елітрон-26», що видає певний шум та вібрацію під час роботи.

Під впливом шуму відбувається зниження слухової чутливості чим значніший шум, тим вище його інтенсивність і експозиція. Шум, навіть при відносно незначних рівнях звука (50 – 60) дБА, підвищує навантаження на нервову систему людини, що дуже відчутно за умов зайняття розумовою діяльністю. Він збуджує нервову систему, підвищує тиск крові, веде до передчасної втоми, викликає головний біль. Доведено, що багато захворювань (гіпертонічна та виразкова хвороби, неврози, шлунково-кишкові і шкіряні захворювання) пов'язано з перенапруженням нервової системи у процесі праці та відпочинку. Так, дія шуму 90 дБА і вище веде до зниження чутливості слухових органів, а іноді, в особливо незадовільних умовах на промислових підприємствах, до виникнення професійного захворювання – сенсоневральної приглухуватості. Дія шуму дуже високих рівнів (більш ніж 145 дБА) може призвести до пошкодження барабанної перетинки.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99 [30]. У ньому встановлені параметри шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для різних видів трудової діяльності. У даному випадку наявний імпульсний шум, оскільки робота на установках, які викликають шум, проводилась рідко, тому для захисту від шуму використовували засоби індивідуального захисту протишумові вкладиші, які встромляються у слухові проходи. Також можна зазначити, що в ході ЕДР при роботі на « Елітрон – 26 », була така особливість, що експериментатор кожну хвилину робив перерву в роботі для

зазначення гравіметричних даних, тому можна стверджувати, що це також зменшувало навантаження на його слуховий апарат та нервову систему в тому числі.

5.1.4 Вібрації

Вібра́ція — рух матеріальної точки або механічної системи, при якому по чергові зростають і спадають за часом значення величини, що характеризує цей рух. Проявляється у вигляді механічних коливань пружних тіл. Основні поняття вібрації. Корисна вібрація збуджується вібраторами й використовується у вібраційній техніці, наприклад, при вібраційному транспортуванні, вібробурінні тощо.

Вібраційна техніка — сукупність методів і засобів збудження, корисного застосування і вимірювання вібрації, вібраційного діагностування, вібраційного захисту та вібраційних випробувань. Вібраційна

машина — машина, виконавчому механізму якої надають вібрацію для здійснення чи інтенсифікації виконуваного процесу чи підвищення його якості. Шкідлива

вібрація (наприклад, під час роботи двигунів чи при русі транспортних засобів) може призвести до порушення режиму роботи машин і до руйнування, згубно впливає на здоров'я людини. Для боротьби із шкідливою вібрацією застосовують віброізоляцію.

Вібраційний захист — сукупність засобів і методів зменшення параметрів вібрації.

Вібростійкість — здатність виробу виконувати свої функції і зберігати свої параметри в межах значень, що висуваються до цього виробу, в умовах впливу вібрації в заданих режимах.

До джерел технологічної вібрації відносяться, наприклад, стаціонарні електричні установки, насосні агрегати, вентилятори та інші. В даній науково-дослідній роботі джерелом вібрації є установка «Елітрон – 26».

Інженерним методом захисту від вібрації є віброгасіння. Вібруючі машини з динамічним навантаженням (вентилятори, насоси, агрегати) встановлюють на окремі фундаменти. Джерела коливань ізолюються від опорних поверхонь гумовими, пружинними або комбінованими віброізоляторами.

Зниження вібрації є запорукою підвищення точності обробки, покращення умов комфорту роботи поліпшення балансування, уникнення небезпечних випадків, оптимізація технологічного процесу. Дані відносно конкретного розділу відповідають до державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99 [35].

5.1.5 Освітлення

Для створення сприятливих умов для здорової роботи, які б запобігали швидкій втомлюваності очей, виникненню професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинно відповідати наступним вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру здорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;
- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частоті переадаптації органів зору;
- не створювати засліплювальної дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- не створювати на робочій поверхні різних та глибоких тіней (особливо рухомих);
- повинен бути достатній для розрізнення деталей контраст поверхонь, що освітлюються;
- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих чинників (шум, теплові випромінювання, небезпека уражений струмом, пожежо- та вибухонебезпека світильників):
- повинно бути надійним і простим и експлуатації,

економічним та естетичним.

Види виробничого освітлення

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла, та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно - або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє - через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване - поєднання верхнього та бокового освітлення.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з урахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення).

Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний в процесі роботи напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

Класифікація видів виробничого освітлення наведена на рисунку 5.2:

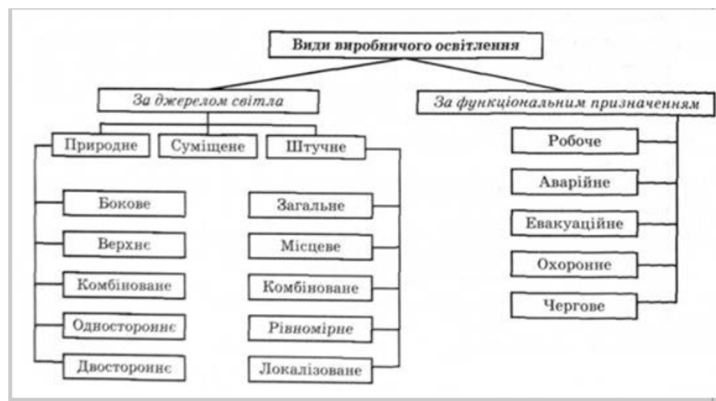


Рисунок 5.2 – Класифікація видів виробничого освітлення

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове.

Робоче освітлення призначене для забезпечення виробничого процесу, переміщення людей, руху транспорту і є обов'язковим для всіх виробничих приміщень.

Аварійне освітлення використовується для продовження роботи у випадках, коли раптове вимкнення робочого освітлення та пов'язане з ним порушення нормального обслуговування обладнання може викликати вибух, пожежу, отруєння людей, порушення технологічного процесу тощо. Мінімальна освітленість робочих поверхонь при аварійному освітленні повинна становити 5 % від нормованої освітленості робочого освітлення, але не менше 2 лк.

Евакуаційне освітлення призначене для забезпечення евакуації людей з приміщень при аварійному вимкненні робочого освітлення. Його необхідно влаштовувати: в місцях, небезпечних для проходу людей; в приміщеннях допоміжних будівель, де можуть одночасно знаходитись понад 100 осіб; у проходах; на сходових клітках; у виробничих приміщеннях, в яких працює понад 50 осіб. Мінімальна освітленість на підлозі основних проходів та на сходах при евакуаційному освітленні повинна бути не менше 0,5 лк, а на відкритих майданчиках - не менше 0,2 лк.

Охоронне освітлення влаштовується вздовж меж території, яка охороняється в нічний час спеціальним персоналом. Найменша освітленість

повинна бути 0,5 лк на рівні землі.

Чергове освітлення передбачається у неробочий час; при цьому, як правило, використовують частину світильників інших видів штучного освітлення.

Природне освітлення стимулює біохімічні процеси в організмі, поліпшує обмін речовин, загартовує організм, йому властива протибактерицидна дія тощо. У зв'язку з цим при недостатньому природному освітленні в умовах виробництва санітарно-гігієнічні нормативи вимагають у системі штучного освітлення застосовувати джерела штучного світла з підвищеною складовою ультрафіолетового випромінювання – еритемні джерела світла.

Основним нормативним документом, відповідно до якого здійснюється нормування освітлення в нашій країні є ДБН В.2.5-28-2006 .

У кабінеті 036 задіяна система сумісного освітлення – це такий тип освітлення при якому використовується, як природне освітлення, так і штучне. При цьому, недостатнє, за умовами зорової роботи, природне освітлення доповнюється штучним (розрядне джерело світла).

5.1.6 Електробезпека

Для захисту від ураження струмом в аварійному режимі застосовують: заземлення, вимикання, подвійну ізоляцію. Заземлення застосовують завжди при живленні від мереж з ізолюваною нейтраллю та за наявності мережі з глухозаземленою нейтраллю при напрузі понад 1000 В.

Захисне вимикання — високонадійна швидкодіюча система захисту, яка застосовується в пересувних електроустановках, які використовують як генератор з ізолюваною нейтраллю, а також в інших випадках, коли умови експлуатації потребують високого рівня безпеки.

Електротехнічні вироби з точки зору безпеки повинні відповідати вимогам ПУЕ-2017.

В аудиторії 036 розміщене такі електричні прилади:

- установка для ЕІЛ «Елітрон-26А»
- обчислювальна техніка (ПК);
- мікротвердомір ПМТ-3М.

Живлення всього обладнання в лабораторії здійснюється від мережі з напругою 220 В. Мікроскоп має підсилену ізоляцію, профілометр та мікротвердомір має робочу ізоляцію. Аудиторія 036 відноситься до категорії приміщень підвищеної небезпеки отримання електротравм.

Чинники, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом, діляться на три групи: електричного характеру, неелектричного характеру і чинники виробничого середовища.

Можливими випадками ураження електричним струмом у даній лабораторії є ураження при пошкодженні ізоляції устаткування та електричного обладнання, або при пошкодженні розетки та підвищеній вологості.

Електричне обладнання, яке використовується при виконанні науково-дослідної роботи, живиться напругою 220 В змінного струму частотою 50 Гц. Воно відноситься до I та II класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від враження електричним струмом у відповідності з ДНАОП 0.00-1.21-98 [29].

5.1.7 Електромагнітне випромінювання

Електромагнітні поля особливо негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання. В діапазоні промислових частот більше негативний вплив на біологічний об'єкт має електрична складова поля.

Найчутливішими до ЕМП є нейродинамічні процеси, які прямо чи побічно перемикають хронобіологічні процеси організму на патологічний або стресовий режим функціонування.

Для попередження професійних захворювань, які виникають у результаті тривалої дії електромагнітних випромінювань, встановлені

гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань, які необхідно контролювати не рідше 1 разу на рік. Якщо вводиться в дію новий об'єкт або здійснюється реконструкція діючих об'єктів, то заміри рівня електромагнітних випромінювань проводяться перед введенням їх в експлуатацію.

Особливістю процесів електродугового та плазмового напилювання є те, що електрична складова електромагнітних полів, що генерується електричним обладнанням незначна, тому контроль цих полів здійснюється переважно за напруженістю магнітного поля у відповідності з ДСН 3.3.6.096-2002. Інтенсивність теплового випромінювання в оптичному діапазоні (ультрафіолетове, видиме, інфрачервоне) на постійних робочих місцях не повинна перевищувати допустимих величин.

Якщо за технічних причин неможливо досягти зазначених щільностей потоку випромінювання, то необхідно застосовувати заходи захисту: екранування джерела випромінювання, застосування кабін чи поверхонь з радіаційним охолодженням, повітряним душуванням (з допустимою швидкістю руху повітря меншою 3,5 м/с), використання теплозахисних килимків, взуття, охолоджуваних костюмів.

Особливістю процесів електродугового та плазмового напилювання є те, що електрична складова електромагнітних полів, що генерується електричним обладнанням незначна, тому контроль цих полів здійснюється переважно за напруженістю магнітного поля у відповідності з ДСН 3.3.6.096-2002.

Для захисту від впливу електромагнітних полів використовують екрани – пристрої (перегородки, камери тощо) з листового металу (сталі, дюралюмінію і т.д.) завтовшки (1-1,5) мм, які обов'язково заземлюють.

5.2 Інженерні рішення

5.2.1 Вимоги до організації робочого місця

Робочі місця з ВДТ слід так розташовувати відносно

світових прорізів, щоб природне світло падало збоку переважно зліва.

При розміщенні робочих столів з ВДТ слід дотримувати такі відстані між бічними поверхнями ВДТ 1,2 м, відстань від тильної поверхні одного ВДТ до екрана іншого ВДТ - 2,5 м.

Конструкція робочого столу має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури, принтера) і документів.

Висота робочої поверхні робочого столу з ВДТ має регулюватися в межах (680...800) мм, а ширина і глибина - забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: (600...1400) мм, глибина - (800..1000) мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги, ніж 650 мм. Висота поверхні сидіння має регулюватися в межах (400...500) мм, а ширина і глибина становити не менше ніж 400 мм. Кут нахилу сидіння - до 15 ° вперед і до 5 ° назад.

Робоче місце має бути обладнане підставкою для ніг завширшки не менше ніж 300 мм, завглибшки не менше ніж 400 мм, що регулюється за висотою в межах до 150 мм і за кутом нахилу опорної поверхні підставки до 20 °. Підставка повинна мати рифлену поверхню і бортик по передньому краю заввишки 10 мм. Конструкція робочого місця користувача ПК має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг; стегна – в горизонтальній площині; передпліччя – вертикально; лікті – під кутом (70–90)° до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше (15–20)° відносно вертикальної площини.

Вимоги до виробничих приміщень для експлуатації ПК, організації і обладнання робочих місць наведені в ДСанПіН 3.3.2.007-98 та НПАОП 0.001.2810 [33].

5.2.2 Вентиляція

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією L_m , визначають, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування. У цьому випадку [0.4м]:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0 \quad (5.1)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, m^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування повітря у даному перерізі, м/с.

Площу F_0 визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та вибраного витяжного пристрою .

Значення V_0 розраховується на підставі забезпечення заданої швидкості повітря V_x (0,6 м/с) у зоні обробки на відстані x (в метрах) від центра всмоктуючого отвору [0.4 м]:

$$V_0 = 16 \cdot V_x \cdot (x/d)^2 \quad (5.2)$$

де d – діаметр отвору.

На рисунку 5.3 наведено принципову схему місцевої вентиляції необхідної для проведення електроіскрового легування.

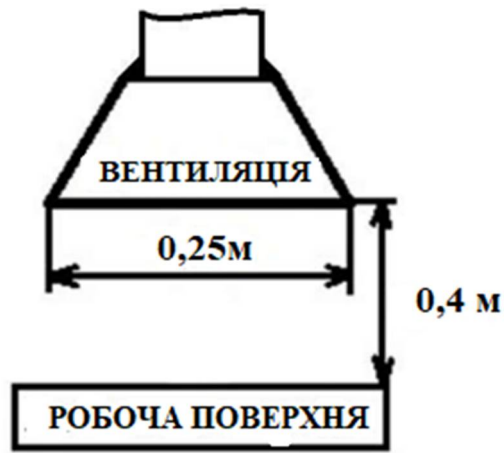


Рисунок 5.3 – Схема місцевої вентиляції

У результаті розрахунків встановлено, що швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі V_0 має становити 24 м/с, а об'єм повітря, що повинно бути видалене місцевою вентиляцією $L_M - 4239 \text{ м}^3$.

Системи кондиціонування повітря, а також системи припливної загальнообмінної вентиляції, які призначені для цілодобового і цілорічного забезпечення необхідних параметрів повітря в громадських та виробничих приміщеннях, слід передбачати не менше ніж з двома установками. У разі виходу з ладу однієї з установок необхідно забезпечити не менше ніж 50 % потрібного повітрообміну та задану температуру (але не менше 12 °С) у холодний період року. За наявності технологічних вимог або згідно із завданням на проектування допускається передбачати встановлення резервних кондиціонерів або вентиляторів, електродвигунів, насосів тощо для підтримки необхідних параметрів повітря.

Відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 місцева вентиляція повинна забезпечувати вилучення забрудненого повітря із зон, в основному, зосередженого виділення шкідливих речовин [37].

Системи місцевих відсмоктувачів горючих речовин, які осідають або конденсуються в повітрі або у вентиляційному обладнанні, повинні бути окремими для кожного приміщення (при цьому можливо об'єднувати декілька одиниць обладнання, шаф в одному приміщенні) або для кожної одиниці обладнання в одному приміщенні.

В даній науково-дослідній роботі проводилось електроіскрове легування трьох різних матеріалів, під час даної обробки відбувався процес переносу електронів від аноду до катоду і кількість шкідливих речовин яка могла потрапити до організму працівника – мінімальна, тому в аудиторії 037 встановлена місцева вентиляція, яка зробила НДР безпечною.

5.2.3 Аналіз освітлення приміщення

Освітленням називають використання світлової енергії сонця і штучних джерел світла для забезпечення зорового сприйняття довкілля. Освітлення дає сприятливий психофізіологічний ефект, впливає на працездатність людини і на безпеку праці. Рациональне освітлення в цехах промислових підприємств є показником естетики виробництва й високого рівня культури праці. Освітлення є важливим стимулятором організму людини, і тому недостатній рівень його підвищує втому зорового аналізатора у процесі виконання роботи, чим сприяє травматизму.

Очищення скла світлових прорізів має проводитися не рідше 2 разів на рік у приміщеннях з незначним виділенням пилу і не рідше 4 разів на рік при значному виділенні пилу; для світильників – 4-12 разів на рік (залежно від характеру запиленості виробничого приміщення). Мити вікна треба 4 рази на рік ззовні, 2 рази на місяць з середини.

Зазначення освітлення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити (300-500) лк. Якщо ці значення освітленості неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцева освітлення.

Для загального освітлення слід застосовувати світильники серії ЛПО 3б із дзеркальними ґратами, укомплектовані високочастотними пускорегулювальними апаратами. Яскравість

світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° з вертикаллю в повздовжній та поперечній площинах має становити не більше ніж 200 кд/м^2 , захисний кут світильників - не менше ніж 40° .

Показник осліпленості у разі використання джерел загального штучного освітлення у виробничих приміщеннях має не перевищувати 20, а показник дискомфорту в адміністративно - громадських приміщеннях має бути не більше за 40.

5.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

Під час аналізу небезпеки підприємства (об'єкта) потрібно визначити всі можливі аварійні ситуації і аварії, в тому числі й малоймовірні, з катастрофічними наслідками, які можуть виникати на підприємстві, розглянути сценарії їхнього розвитку і оцінити наслідки. Виявлення можливостей і умов виникнення аварій має виконуватись на основі аналізу особливостей роботи як окремого обладнання (апаратів, машин тощо), так і їх групи (технологічних блоків), а також з урахуванням небезпечних властивостей речовин і матеріалів (вибухопожежонебезпечних та шкідливих), що використовуються у виробництві.

З метою запобігання виникненню та ліквідації надзвичайних (аварійних) ситуацій на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій у відповідності до положення.

5.3.1 Пожежна безпека

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» лабораторія за пожежною безпекою належить до категорії В, тому що в ній знаходяться горючі та важкогорючі матеріали. Можна зробити висновок, що приміщення лабораторії № 036-9 за пожежонебезпекою відноситься до категорії «Г» (в лабораторії є негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані,

процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, 71 полум'я; горючі газы, спалимі рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо) . Найбільш пожежонебезпечним місцем в лабораторії є місце де прокладена електропроводка. Загоряння в приміщенні може спричинитися через коротке замикання в електропроводці . План евакуації із лабораторії в разі виникнення пожежі наведено на рисунку 5.3.

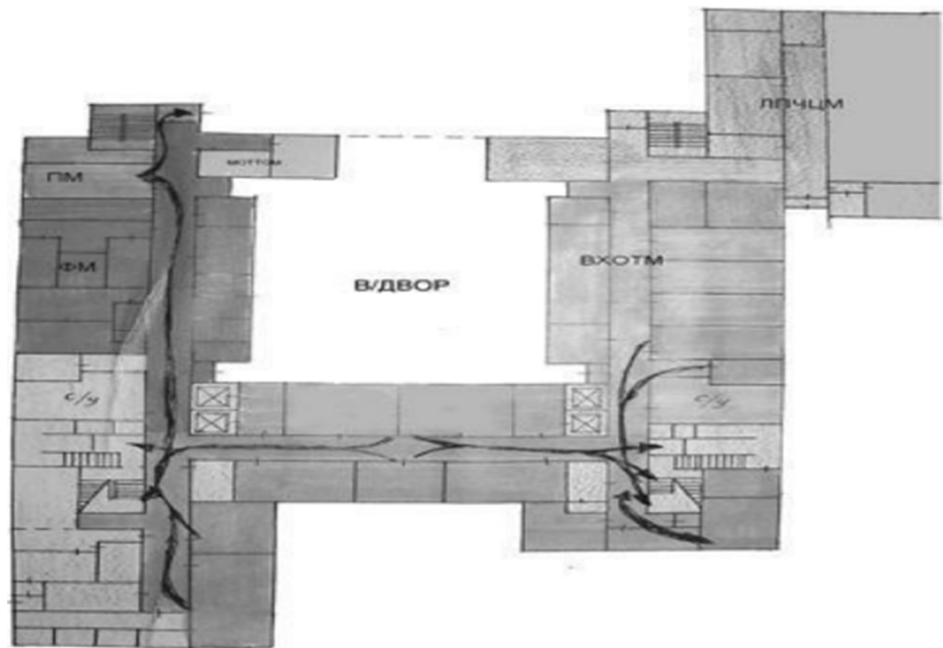


Рисунок 5.3 План евакуації з лабораторії 036-9

Основними заходами протипожежної безпеки є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі та систем пожежної сигналізації, перевірка справності електричної проводки.

5.3.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку загорання електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника. Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний: – негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101; – приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран

тощо); – викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці). У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

У випадку пробою електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці. У випадку потрапляння когонебудь під напругу, необхідно відключити електродуговий агрегат від мережі, покласти 75 потерпілого на дерев'яни настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

5.4 Висновки до розділу 5

1. В даному розділі проведено аналіз різних факторів, що стосуються безпеки робочого персоналу, що є дуже важливим, уникнення різного роду травм в процесі електро-іскрового легування зразків та їх підготовки, зокрема шліфування, травлення. Створено певні правила для уникнення травмування .

2. Робота з будь-якими об'єктами та в будь-якому середовищі має супроводжуватись елементарними правилами безпеки, тому даний розділ є важливим оскільки в ньому аналізуються всі аспекти небезпеки виконання певних процесів та послідовностей.

ВИСНОВКИ

1. Показана можливість формування зміцнених покриттів з мікротвердістю 9 ГПа – 12,5 ГПа на поверхні сталі 40X13 пошаровим електроіскровим легуванням вольфрамом та вуглецем при різних послідовностях нанесення.

2. Встановлено, що найвищу мікротвердість – 12,5 ГПа має легований шар сталі 40X13 при ЕІЛ в послідовності С – W – С – W, що зумовлено формуванням суміші карбідів волфраму - W_2C , WC , Fe_3W_3C .

3. Показано, що послідовність нанесення вольфраму та вуглецю при пошаровому електроіскровому легування визначає мікротвердість поверхневого шару: ЕІЛ в послідовності С – W – С – W призводить до мікротвердості 11,5 ГПа, ЕІЛ в послідовності W – С – W – С до 11 ГПа, ЕІЛ послідовності W – С – W до 9,1 ГПа.

4. Проведено аналіз різних факторів, що стосуються безпеки робочого персоналу, що є дуже важливим, уникнення різного роду травм в процесі електро-іскрового легування зразків та їх підготовки, зокрема шліфування, травлення. Створено певні правила для уникнення травмування .

5. Була проведена оцінка ринкових можливостей старап – проекту «створення зміцнених покриттів на сталі медичного призначення 40X13 на основі W та C з метою забезпечення стійкості до корозії та покращення механічних властивостей зразка для запобігання руйнування матеріалу в агресивних середовищах та під дією різних навантажень». Впровадження проекту є перспективним, широкий ринок пропонованих матеріалів для деталей хірургічної галузі. Проект потребує подальших досліджень для проведення повної оцінки його ринкових спроможностей.

CONCLUSION

1. The possibility of formation of hardened coatings with microhardness of 9 GPa – 12.5 GPa on the surface of steel 40KH13 (40X13) by layered electrospark doping of tungsten and carbon with different sequences of application is shown.

2. It is established that the highest microhardness - 12.5 GPa has alloyed steel 40KH13 (40X13) with ESA in the sequence C – W – C – W, which is caused by the formation of a mixture of tungsten carbides – W_2C , WC, Fe_3W_3C .

3. It is shown that the tungsten and carbon deposition sequence by layer electrospark doping determines the microhardness of the surface layer: ESA in the sequence C – W – C – W leads to a microhardness of 11.5 GPa, ESA in the sequence W – C – W – C up to 11 GPa. sequences W - C - W up to 9.1 GPa.

4. The analysis of various factors concerning the safety of working personnel, which is very important, the avoidance of various types of injuries in the process of electro-spark doping of samples and their preparation, in particular grinding, etching. Some rules have been created to avoid injury.

5. The market opportunity of the startup - project "creation of hardened coatings for medical grade 40KH13 (40X13) on the basis of W and C - was carried out in order to provide resistance to corrosion and to improve the mechanical properties of the sample in order to prevent the destruction of the material in aggressive environments and under the influence of different loads". The implementation of the project is a promising, wide market of materials for the surgical industry. The project needs further research to fully evaluate its market potential.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Попович В.В.* Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник для студ. вищ. навч. закл. / В.В. Попович, — Львів: Світ, 2006. — 624 с.
2. *Пахолук А.П.* Основи матеріалознавство і конструкційні матеріали: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / А.П. Пахолук, О.А. Пахолук. — Львів: Світ, 2005. — 172 с.
3. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навч. посібник для учнів прф. навч. закл. / В.В. Хільчевський, С.Є. Кондратюк, В.О. Степаненко, Г.К. Лопатько. — Либідь, 2002. — 328 с.
4. *Мовчан В.П.* Основи металургії/ В.П. Мовчан, М.М. Бережний.— Дніпропетровськ: Пороги, 2001. — 336 с.
5. *Хільчевський В.В.* Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів/ В.В. Хільчевський. — Навчальний посібник. К. : Либідь, 2002. — 328с.
6. *Мовчан В.П.* Основи металургії./В.П. Мовчан, М.М. Бережний. — Дніпропетровськ: Пороги, 2001. — 336 с.
7. *Гуляев А.П.* Металловедение: учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. / А.П. Гуляев, — Металлургия, 1986. — 544 с.
8. *Химушин Ф.Ф.* Жаропрочные стали и сплавы/ Ф.Ф. Химушин, — М.: Металлургия, 1969. — 752 с.
9. *Лазаренко Н.И.* О механизме образования покрытий при электроискровом легировании металлических поверхностей/ Н.И. Лазаренко, — Электронная обработка материалов, 1965. — (11–14) с.
10. *Горелик С.С.* Рентгенографический и электроннооптический анализ / С.С. Горелик, Л.Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков. — М.: Металлургия, 1970. — 271 с.
11. *Дурягіна З.А.* Сплави з особливими властивостями / З.А. Дурягіна, О.Я. Лизун, В.Л. Пілюшенко. — Л.: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2007. — 236 с.

12. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навч. Посібник/ В.В. Хільчеський, С.Є. Кондратюк, В.О. Степаненко, К.Г. Лопатько. — К. : Либідь, 2002. — 328 с.
13. *Попович В.В.* Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник для студ. вищ. навч. закл. / В.В. Попович. — Львів: Світ, 2006. — 624 с.
14. *Руденко Л.Ф.* Леговані сталі та сплави : навч. посіб. / Л.Ф. Руденко, Т.П. Говорун. — Суми : Сум. держ. ун-т, 2012.— 170 с.
15. *Кузьмин Б.А.* Металлургия, металловедение и конструкционные материалы : учебн. для мех. и машиностроительных техникумов / Б.А. Кузьмин, А.И. Самохоцкий. — М.: Высшая школа, 1984. — 256 с.
16. *Куцова В.З.* Леговані сталі та сплави з особливими властивостями : підручник / В.З. Куцова, М.А. Ковзель, О.А. Носко. — Дніпропетровськ : НМетАУ, 2008.— 349 с.
17. *Лобачова Г.Г.* Поверхнєве зміцнення сплавів заліза електроіскровим легуванням цирконієм, титаном, хромом та хімікотермічною обробкою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.16.01 “Металознавство та термічна обробка металів” / Г.Г. Лобачова. — Київ, 2012. — 20 с.
18. *Лякишаев Н.П.* Диаграммы двойных металлических систем/ под общей реакцией Н.П. Лякишаева. — М.: Изд-во Машиностроение, 1996. — Т. 1 — 778 с.
19. *Лякишаев Н.П.* Диаграммы двойных металлических систем/ под общей реакцией Н.П. Лякишаева. — М.: Изд-во Машиностроение, 1996. — Т. 2 — 578 с.
20. *Сидоренко С.І.* Матеріалознавство і розробка електронної техніки / С.І. Сидоренко, Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова. — Науковий вісник КУЕІТУ, 2013. — №3-4(41-42). — 3 с.
21. *Ким В.А.* Самоорганизация в процессах упрочнения, трения и изношения режущего инструмента / В.А. Ким. — Владивосток : Дальнаука,

2001. – 199 с.

22. *Лубан Р.Б.* О возможном механизме массопереноса при электроискровом легировании металлов / Р.Б. Лубан, Л.С. Пеккер. — ЭОМ, 1991. – 13 с.

23. *Лазаренко Б.Р.* Электроискровое легирование металлических поверхностей / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1977. №3. – С. 12 – 16.

24. *Верхотуров А.Д.* Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток : Дальнаука, 1995. – 323с.

25. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.В. Сычев. – К. : Наук. Думка, 1976. — 220 с.

26. Кинетика обратного массопереноса при электроискровом легировании и формирование вторичной структуры на аноде / А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Н. Куриленко, Л.П. Половцев // Физика и химия обработки материалов. – 1986. – №4. – С.65-68.

27. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків там зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

28. НПАОП 0.00-1.28-10 – Правила охорони праці під час експлуатації ЕОМ.

29. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

30. ДСН 3.3.6.037-99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

31. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

32. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації. / Є.П. Желібо, Н.М. Заверуха, В.В. Зацарний // Київ: «Каравела». – 2001. –

320 с.

33. ДСанПіН 3.3.2.007-98 – Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин.

34. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

35. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

36. СП1960-79 – Санитарные правила работы с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения.

37. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.

38. *Иванова Е.В.* Феноменологическая модель электроискрового легирования / Е.В. Иванова // Статья в сборнике трудов конференции: “Качество в производственных и социально – экономических системах” – 2016 – С.183-185

39. *Лазаренко Б.Р.* Электроискровая обработка токопроводящих материалов /Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко – М.: изд. АН МССР, 1959. – 183с. 40. Диаграмма состояния системы углерод-вольфрам (C-W). Режим доступа: [https://markmet.ru/diagrammy-splavov/diagramma-sostoyaniyasistemy-uglerod volfram-c-w](https://markmet.ru/diagrammy-splavov/diagramma-sostoyaniyasistemy-uglerod-volfram-c-w). – Дата доступа:12.12.2018. – Образование, профессия, бизнес Металлургия MARKMET.

41.Физические методы восстановления деталей. Режим доступа: https://studopedia.su/15_184645_elektroiskrovoye-legirovanie.html. Дата доступа: 19.10.2018. – Электроискровое легирование.

42. Микроскопы металлографические агрегатные ЕС МЕТАМ РВ. Режим доступа: http://granat-e.ru/ec_metam_rv.html. Дата доступа: 21.10.2018. – Гранат.

43. Микротвердомер ЛОМО ПМТ-3М. Режим доступа: <http://lomomicrosystems.ru/Pmt-3M.html>. Дата доступа 11.12.2018. – Микроскопы АО “ЛОМО” Принадлежности, цифровые камеры,

наблюдательные и спектральные приборы.